

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Stanovení tepelné účinnosti parního kotle
při spalování směsi průmyslových plynů

Thermal Efficiency Determinations of
Steam Boiler
for Combustion of Industrial Gas Mixtures

Student:	Pavel Friedel
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Tomáš Výtisk Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Friedel

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Stanovení tepelné účinnosti parního kotle při spalování směsi
průmyslových plynů
Thermal Efficiency Determinations of Steam Boiler for Combustion of
Industrial Gas Mixtures

Zásady pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- 1) Teoretický rozbor problematiky stanovení tepelné účinnosti kotlů.
- 2) Metodika stanovení tepelně technických parametrů pro výpočet účinnosti.
- 3) Zpracování naměřených hodnot a kontrolní výpočet.
- 4) Porovnání dosažené účinnosti při spalování různých topných plynů.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 07 0302. *Přejímací zkoušky parních kotlů*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 52 s.
RAJNIAK, I. *Tepelno-energetické a emisné merania*. I. vydání, Bratislava: Ister Science, spol. s r.o., 1997. 481 s. ISBN 80-88683-20-3.
RYBÍN, M. *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů*. II. vydání, Praha: SNTL, 1985. 420 s.
Technické zprávy z garančních zkoušek kotlů. Katedra energetiky, VŠB TU Ostrava.

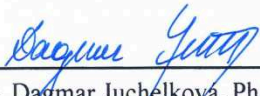
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požádat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Pavel Friedel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Ostravská 1189, Polanka nad Odrou, 725 25

ANOTACE BAKALÁŘKÉ PRÁCE

FRIEDEL, P. Stanovení *tepelné účinnosti parního kotle při spalování směsi průmyslových plynů* : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 49 s. Vedoucí práce: Výtisk, T.

Bakalářská práce se zabývá stanovením tepelné účinnosti parního kotle při spalování směsi průmyslových plynů. Zahrnuje stanovení tepelné účinnosti kotle jak přímou, tak i nepřímou metodou. Pro výpočet účinnosti parního kotle musí být určena tepelně technická data, která mohou být stanovena měřením, výpočtem z naměřených hodnot nebo jsou dány ČSN. Pro stanovení účinnosti je důležité znát druh a množství spalovaného plynu nebo směsi spalovaných plynů. V práci jsou hodnoceny výsledky při spalování zemního plynu, ale také směsi topných průmyslových plynů. Nejvyšší účinnosti bylo dosaženo při spalování samostatného zemního plynu a to účinnosti 95,65 %. Uvedené účinnosti bylo dosaženo při nižším výkonu kotle. Při srovnání spalování směsí topných plynů bylo dosahováno stejného výkonu a při spalování směsi čtyř topných plynů bylo dosaženo vyšší účinnosti než při spalování tří plynů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FRIEDEL, P. *Thermal Efficiency Determinations of Steam Boiler for Combustion of Industrial Gas Mixtures* : Mater Bachelor Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2013, 49 p. Thesis head: Výtisk, T.

This thesis deals with the determination of the thermal efficiency of the steam boiler burning a mixture of industrial gases. This includes determining the thermal efficiency of the boiler both direct and indirect method. To calculate the efficiency of a steam boiler must be designed heat technical data, which can be determined by measuring, calculating from the measured values are given or ČSN. To determine the efficiency is important to know the tape and amount of combustion gas or a mixture of combustion gases. The paper evaluates the results of the combustion of natural gas, but also heating a mixture of industrial gases. High efficiency was achieved in a separate combustion gas and the efficiency of 95,65 %. The efficiency was achieved at lower boiler output. When comparing burning a mixture of fuel gases was achieved the same performance and combustion heating a mixture of four gases achieved higher efficiency than the combustion of the three gases.

Obsah

1	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ	8
1.1	Značení a jednotky	8
1.2	Indexy	10
2	ÚVOD	11
3	ÚČINNOST KOTLŮ	12
3.1	Přímá metoda	13
3.2	Nepřímá metoda	14
4	STANOVOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH HODNOT PRO VÝPOČET ÚČINNOSTI	16
5	ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLoty	17
5.1	Kapalinové teploměry	17
5.2	Odporové teploměry	18
5.3	Termočlánky	19
5.3.1	Plášťový termočlánek	20
5.3.2	Tyčový termočlánek s keramickou ochranou	20
5.3.3	Trubkové termočlánky	20
5.3.4	Termočlánekové vysouvací teploměry	20
5.3.5	Termočlánekové odsávací teploměry	21
5.4	Infračervené pyrometry	21
5.5	Bimetalické teploměry	21
5.6	Termovize	22
6	METODY MĚŘENÍ TLAKU	22
6.1	Kapalinový barometr	22
6.2	U-trubice	22
6.3	Mikromanometr	23
6.4	Deformační tlakoměry	24
6.4.1	Tlakoměr s Bourdonovou trubicí	24
6.4.2	Membránové tlakoměry	24
6.4.3	Membránové tlakoměry s elektrickou indikací	25
6.4.4	Membránové tlakoměry s krabicovými membránami	25
6.5	Elektrické tlakoměry	25
7	MĚŘENÍ PRŮTOKU	26
7.1	Rychlostní průtokoměry	26
7.2	Objemové průtokoměry	26
7.2.1	Tělesové měřidla	27
7.2.2	Kroužkové měřidla	27
7.2.3	Membránové měřidla	27
7.3	Měření průtoku rychlostními sondami	28

7.3.1	Pitotova trubice	28
7.3.2	Prandtlůva trubice	29
7.3.3	Kolenový průtokoměr	29
7.4	Vírové průtokoměry	29
7.5	Indukční průtokoměry	29
7.6	Měření průtoku clonami, dýzami a Venturiho trubicí.....	30
8	PRŮMYSLOVÉ PLYNY	30
8.1	Topné plyny málo výhřevné.....	31
8.1.1	Vysokopecní plyn	31
8.2	Topné plyny středně výhřevné	32
8.2.1	Konvertorový plyn.....	32
8.3	Topné plyny velmi výhřevné	33
8.3.1	Koksárenský plyn	33
8.4	Topné plyny velmi vysoce výhřevné	34
8.4.1	Zemní plyn	34
9	EMISE	35
9.1	Měření koncentrace CO, SO ₂ , NO _x a O ₂ ve spalínách při stanovení plynných emisí	35
9.2	Koncentrace O ₂	36
9.3	Měření koncentrace tuhých znečišťujících látek.....	36
10	SPALOVÁNÍ TOPNÝCH PLYNŮ V KOTLI.....	36
11	MĚŘENÍ PROVÁDĚNA NA PLYNOVÉM KOTLI PRO ZÍSKÁNÍ DAT	38
11.1	Měření teploty	38
11.1.1	Měření teploty páry a napájecí vody.....	38
11.1.2	Měření teploty nasávaného vzduchu.....	38
11.1.3	Měření teploty spalín	38
11.2	Měření statických a diferenčních tlaků.....	38
11.3	Měření průtoku	38
11.3.1	Měření průtoku páry a napájecí vody	38
11.3.2	Měření množství spalovaných plynů	39
11.4	Měření koncentrace O ₂ ve spalínách za kotlem	39
11.5	Měření koncentrací plynných složek spalín na vstupu do komína.....	39
11.6	Měření koncentrací TZL ve spalínách na vstupu do komína	39
12	KONTROLNÍ VÝPOČET ÚČINNOSTI PARNÍHO KOTLE	40
12.1	Program na výpočet účinnosti kotle	41
12.2	Rozbor plynných paliv spalovaných v kotli	43
12.3	Porovnání účinnosti při spalování směsi průmyslových plynů	44
13	ZÁVĚR	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49

1 SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ

1.1 Značení a jednotky

Značka	Veličina	Jednotka
B	intenzita magnetického pole	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
C	součinitel průtoku	l
L	vzdálenost	m
M_{pv}	množství přivedeného paliva	kg
M_{p}	množství vyrobené páry	kg
M_{n}	množství napájecí vody	kg
M_{o}	množství odluhu	kg
\dot{Q}_{vyr}	teplo odevzdané vodě a páře	J
Q_{z}	součet tepelných ztrát	J
Q_{i}	výhřevnost paliva	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
\dot{Q}_{vyrj}	jmenovitý výkon parogenerátoru	W
S	průřez	m^2
T	teplota	K
T_{pr}	teplota proudu	$^{\circ}\text{C}$
V_{pv}	objem vlhkých spalín při skutečném stavu	$\text{m}_n^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
V_{v}	množství spalovacího vzduchu	m_n^3
V_{ps}	množství suchých spalín	m^3
V_{p}	objem vlhkých spalín	m^3
c	rychlost šíření ultrazvuku v tekutině	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
c_{pv}	tepelná kapacita	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c_{p}	střední měrná tepelná kapacita spalín	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c_{v}	měrná tepelná kapacita vzduchu	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
d	vnitřní průměr clony	m
dF	elementární síla	N
dS	elementární plocha	m^{-2}
g	gravitační zrychlení	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
h	výška sloupce tekutiny	m
i_{p}	entalpie vyrobené páry	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
i_{n}	entalpie napájecí vody	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
i_{o}	entalpie odluhu	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
k_{I}	konstanta pro paliva	l
k_1	konstanta, která je dána druhem kapalinou	l
k_2	konstanta, udává minimální průtokové množství	l
k_{p}	konstanta přístroje	m
k	konstanta systému	l

Značka	Veličina	Jednotka
p_b	tlak v bubnu kotle	Pa
p_c	celkový tlak	Pa
p_s	statický tlak	Pa
p_d	dynamický tlak	Pa
p_p	tlak přehřáté páry	Pa
s_1	průřez větší nádoby	m^2
s_2	průřez malé nádoby	m^2
t_p	teplota přehřáté páry	$^{\circ}C$
t_{pv}	teplota přivedeného paliva	$^{\circ}C$
t_{ok}	teplota okolí	$^{\circ}C$
t_v	teplota přivedeného vzduchu	$^{\circ}C$
w	střední rychlost proudění v rovině instalace	$m \cdot s^{-1}$
\bar{w}	rychlost v průřezu	$m \cdot s^{-1}$
w_p	rychlost proudu	$m \cdot s^{-1}$
α	lineární součinitel roztažnosti	$^{\circ}C^{-1}$
α_k	průtokový součinitel	1
β	poměr průměru	1
ΔH	rozdíl hladiny v bubnu kotle	m
Δt	rozdíl teploty	$^{\circ}C$
Δp	diferenční tlak tekutiny	Pa
ε_1	součinitel expanze	1
ζ_c	ztráta způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích	%
ζ_{co}	ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalínách	%
ζ_f	ztráta způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích	%
ζ_k	ztráta způsobená únikem tepla ve spalínách (komínová ztráta)	%
ζ_i	poměrná ztráta	%
ζ_{sv}	ztráta způsobená odevzdáním tepla do okolí	%
ζ_{ch}	ztráta způsobená odevzdáním tepla v chladicí vodě	%
$\zeta_{cš}$	ztráta způsobená únikem hořlaviny ve škváře	%
ζ_{cp}	ztráta způsobená únikem hořlaviny v popelu	%
ζ_{cu}	ztráta způsobená únikem hořlaviny v úletu	%
ζ_{cr}	ztráta způsobená únikem hořlaviny v propadu roštem	%
ζ_{cs}	koncentrace sazí ve spalínách	$kg \cdot m^{-3}$
η	Účinnost kotle	%
ρ_m	měrná hmotnost proudícího média	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{pt}	hustota protékající tekutiny	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_1	měrná hmotnost tekutiny	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{pr}	měrná hmotnost prostředí	$kg \cdot m^{-3}$

Značka	Veličina	Jednotka
ρ_{np}	měrná hmotnost náplně	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ω_i	objemový podíl hořlavé složky v suchých spalínách	1
ω	střední axiální rychlost v potrubí	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$	faktor vstupní rychlosti	1

1.2 Indexy

Index	Význam
pv	paliva
p	pára
n	napájecí voda
o	odluh
pt	protékající tekutina
pr	prostředí
np	náplň
v	vzduch
ps	suché spaliny

2 ÚVOD

V bakalářské práci se zabývám stanovováním účinnosti parního kotle při spalování směsi průmyslových plynů. Důvod, proč se zabývat účinností parního kotle při spalování směsi plynů, může být ekonomický a technologický.

Abych mohl vypočítat účinnost parního kotle, musím vědět, jakými metodami mohu počítat. Zda budu počítat pomocí přímé nebo nepřímé metody. Dalším důležitým prvkem pro výpočet je zjištění tepelně technických hodnot. Ty je možno zjistit měřením teploty, tlaku a průtoku tekutin v parním kotli. Měření můžeme provádět různými druhy teploměrů, tlakoměrů a průtokoměrů. Důležitým bodem pro výpočet účinnosti je znalost druhů průmyslových plynů, které budou spalovány v parním kotli. Druhů průmyslových plynů je hodně a jejich vlastnosti záleží na tom, při jaké výrobě vznikají. V práci budu počítat se spalováním plynů konvertorového, koksárenského, vysokopecního a zemního. Tyto plyny se při spalování v kotli používají ve směsi, na základě jejich výhřevnosti a aktuálně vyráběného množství v technologii závodu. Zemní plyn lze díky své výhřevnosti spalovat samostatně, ale pro jeho úsporu je spalován v minimálním potřebném množství ve směsi s ostatními topnými plyny.

3 ÚČINNOST KOTLŮ

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1] a [2]

Do energetické bilance kotle se zahrnují všechny ztráty, vlastní spotřeba tepla a elektrické energie. Záleží na typu kotle jako na energetické soustavě, jejím základním ukazatelem je její hospodárný poměr množství vyrobeného tepla v páře nebo ve vodě a množství tepla přivedeného do soustavy v palivu. Uvedený poměr se nazývá účinnost kotle. Hodnota tohoto poměru je vynaložené množství tepla v palivu k vyrobenému teplu. Hranice soustavy by měla být definovaná tak, aby se dalo správně měřit všechny hmotnostní a energetické toky, vstupující a vystupující ze soustavy.

Účinnost ovlivňují tyto ukazatele:

1. Ztráta nedokonalým využitím uvolněného tepla.
2. Ztráta nedokonalým uvolněním tepla při spalování.
3. Ztráta páry, vody v kondenzátu.
4. Ztráta paliva při dopravě a přepravě.
5. Vlastní spotřeba tepla.
6. Vlastní spotřeba elektrické energie.

Při určování účinnosti kotle se vychází z tepelné bilance:

$$\dot{Q}_{přiv} = \dot{Q}_{vyr} + \sum Q_z \quad [J] \quad (1)$$

$\dot{Q}_{přiv}$ - teplo, přivedené do kotle palivem a vzduchem zahříváním cizím zdrojem za určitý časový úsek [J]

\dot{Q}_{vyr} - teplo odevzdané vodě a páře [J]

$\sum Q_z$ - součet tepelných ztrát [J]

Po úpravě vztahu platí

$$1 = \frac{\dot{Q}_{vyr}}{\dot{Q}_{přiv}} + \frac{\sum Q_z}{\dot{Q}_{přiv}} \quad (2)$$

$$1 = \eta + \sum \zeta_i, \quad \text{resp.} \quad \eta = 1 - \sum \zeta_i \quad (3)$$

Z uvedených vztahů lze odvodit dvě metody určování účinnosti:

- 1) Přímá metoda, která se zakládá na zjištění potřebných energetických vstupů.
- 2) Nepřímá metoda, která se zakládá na výpočtu jednotlivých ztrát.

3.1 Přímá metoda

Základní vztah:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{vyr}}{\dot{Q}_{přiv}} \quad [\%] \quad (4)$$

Teplo přivedené do kotle za čas Δt se určí podle vztahu:

$$\dot{Q}_{přiv} = M_{pv} \cdot Q_i + M_{pv} \cdot c_{pv} \cdot (t_{pv} - t_0) + V_v \cdot c_v \cdot (t_v - t_{ok}) \quad [kJ] \quad (5)$$

První člen pravé strany ve vztahu (5) vyjadřuje teplo chemicky vázané v palivu, druhý člen fyzické teplo paliva a třetí člen teplo přivedené spalovacím vzduchem. Hodnota druhého a třetího členu je v porovnání s hodnotou prvního členu zanedbatelná a počítá se s ní jenom v případě ohřevu paliva nebo vzduchu z cizího zdroje.

Teplo odevzdané vodě a páře za čas Δt se určí podle vztahu:

$$\dot{Q}_{vyr} = M_p \cdot i_p - M_n \cdot i_n + M_o \cdot (i_o - i_n) \quad [kJ] \quad (6)$$

Podle hmotnostní bilance platí:

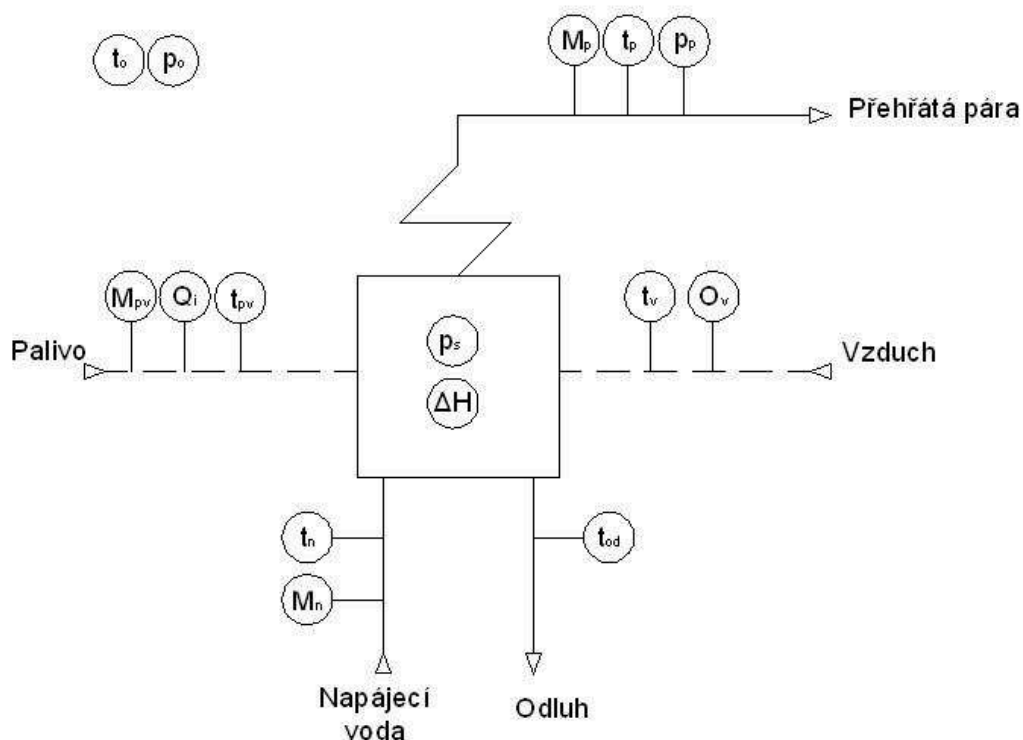
$$M_n = M_p + M_o \quad [kg] \quad (7)$$

Přivedené a vyrobené teplo, které se vztahuje na čas trvání zkoušky, se může vyjádřit v kW nebo MW.

Rozsah měření při stanovení účinnosti přímou metodou:

Při přímé metodě má zkouška trvat minimálně 6 hodin při ustáleném stavu kotle a na konci se má dosáhnout počátečního stavu hladiny vody v bubnu, paliva v ohništi, tepelné kapacity ohniště atd. Kotel má být před zkouškou čistý, bez netěsností a použité měřicí přístroje mají být kalibrované. Spalované palivo má mít v průběhu zkoušky rovnoměrnou jakost.

Přehled doporučených měřících míst je na (obr. 1.).



Obr. 1. Přehled měřicích míst – přímá metoda

1. Množství vyrobené páry M_p a napájecí vody M_n se měří provozním systémem, tj. nejčastěji škrťacími prvky a diferenčními manometry (průtokoměry).
2. Pro určení hodnoty entalpie vyrobené přehřáté páry se měří teplota t_p a tlak p_p .
3. Největší problém při požadavcích na minimální přesnost měření je množství spáleného paliva M_{pv} . Způsob měření se řeší individuálně a v provozech je ho možno spolehlivě zvládnout jen při spalování plyných nebo kapalných paliv.
4. Výhřevnost spalovaného paliva Q_i se určuje v laboratořích z odebraných vzorků paliva.
5. Množství spalovacího vzduchu V_v se neurčuje, přímým měřením, ale vypočítá se z rovnice spalování.
6. Rozdíl hladiny v bubnu ΔH a tlaku v bubnu p_b se sleduje kvůli požadavkům zhodnocení počátečního a konečného stavu.

Přímá metoda určování účinnosti kotlů neposkytuje spolehlivý výsledek. Problémem je zvládnout s požadovanou přesností měření základních vstupních parametrů.

3.2 Nepřímá metoda

Ze vztahu (3) se účinnost vyjadřuje pomocí jednotlivých ztrát, které se vyskytují při provozu kotle.

Součet ztrát $\sum \zeta_i$ se vypočítá podle vztahu.

$$\sum \zeta_i = \zeta_c + \zeta_{co} + \zeta_f + \zeta_k + \zeta_{sv} + \zeta_{ch} \quad [1] \quad (8)$$

V následující části jsou uvedeny hlavní ztráty, které se mohou vyskytovat při spalování topných plynů.

1. Ztráta ζ_c , způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích, se vykytuje při spalování tuhých paliv. Skládá se z částečných ztrát:

$$\zeta_c = \zeta_{cš} + \zeta_{cp} + \zeta_{cu} + \zeta_{cr} + \zeta_{cs} \quad [1] \quad (9)$$

Ztráta ζ_c se při spalování kapalných a plyných paliv při správném dokonalém spalování nevyskytuje. Při vzniku sazí, uhlíku charakterizovaného hodnotami sazového čísla podle Bacharacha vyšším než 4, se ztráta vypočítá podle vztahu:

$$\zeta_{cs} = \frac{32\,600 \cdot C_s \cdot V_{pv}}{Q_i} \quad [1] \quad (10)$$

2. Ztráta ζ_{co} , způsobená únikem hořlaviny ve spalínách, vyjadřuje ztrátu při uvolňování tepla v důsledku nedokonalého spalování hořlaviny v palivu – provází je výskyt hořlavých složek ve spalínách např. oxidu uhličitého, vodíku a uhlovodíku C_xH_y . Nejčastěji se vyskytuje CO, který tvoří podstatnou část ztráty. Při určování velikosti ztráty se vypočítá poměr tepelného obsahu hořlavých složek vzniklých při spálení 1 kg resp. z 1 m³_n paliva k množství vázaného tepla na 1 kg resp. 1 m³_n paliva.

$$\zeta_{co} = \frac{\sum Q_i \cdot \omega_i \cdot V_{ps}}{Q_i} \quad [1] \quad (11)$$

3. Ztráta ζ_k , způsobená únikem tepla ve spalínách (komínová ztráta), se vyjadřuje poměrem tepla odvedeného ve spalínách k množství tepla přivedeného v 1 kg, resp. 1 m³_n paliva.

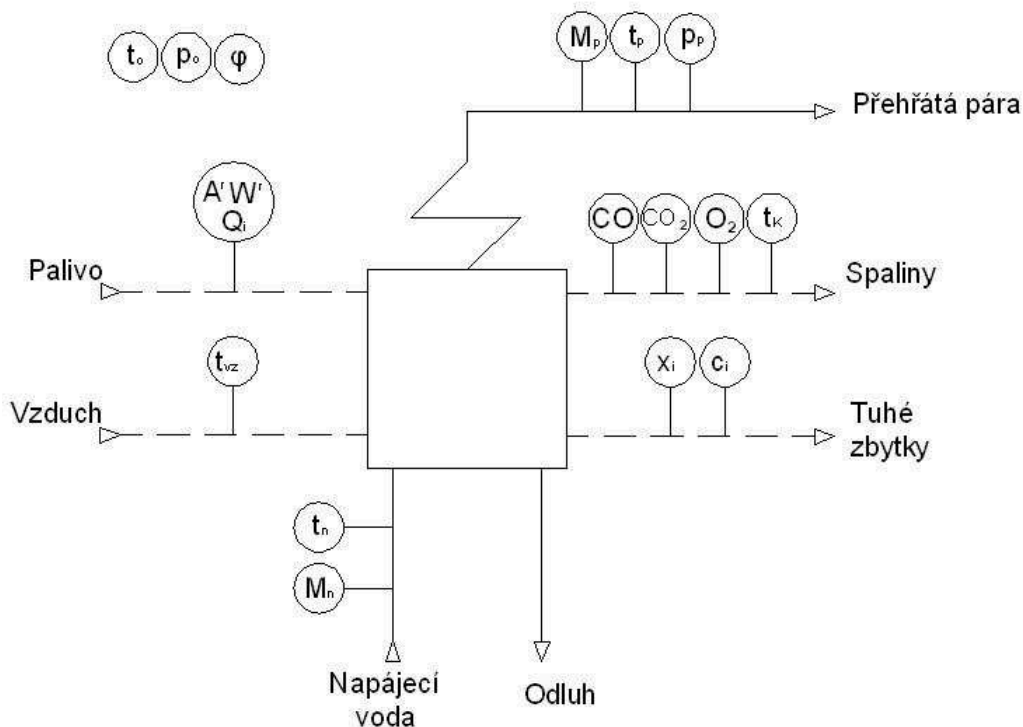
$$\zeta_k = \frac{V_p \cdot c_p \cdot (t_k - t_{vz})}{Q_i} \quad [1] \quad (12)$$

4. Ztráta ζ_{sv} , způsobená odevzdáním tepla do okolí závisí na konstrukci kotle, použitých materiálech, izolaci, tloušťce stěn a jejich povrchové úpravě. Přesný výpočet hodnoty ζ_{sv} je zdlouhavý a velikost ztráty při vyhodnocování provozu není podstatná.

$$\zeta_{sv} = k_l \cdot \dot{Q}_{vyvj}^{-0,35} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyvj}}{\dot{Q}_{vyr}} \quad [1] \quad (13)$$

Rozsah měření při stanovení účinnosti nepřímou metodou:

Hlavní zásady pro zkoušky se shodují se zásadami při přímé metodě, přičemž čas zkoušky se omezuje na 4 hodiny. Přehled doporučujících měřících míst je na obr. 2.



Obr. 2. Přehled měřících míst – nepřímá metoda

Základní body pro správnost měření jsou:

- analýza spalín,
- správný odběr vzorků paliv a jejich zpracování,
- laboratorní rozbor vzorků paliva,
- správné určení teploty spalín.

V praxi se nejčastěji používá nepřímá metoda, která poskytuje přesnější výsledky a dává prostor na identifikaci odchylek od optimálního stavu.

4 STANOVOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH HODNOT PRO VÝPOČET ÚČINNOSTI

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [2]

Abych byl schopen stanovit tepelně technická data, musím provádět měření teplot, tlaků a průtoků.

Druhy měření:

- Měření provozní
- Měření kontrolní
- Měření výzkumné

Podle povahy měření se používají měřicí přístroje s různou náročností a přesností:

- Přístroj s místním ukazováním
- Přístroj s dálkovým přenosem dat
- Přístroj se zápisem hodnot (analogovým a digitálním)

Stupnice měřicích přístrojů:

- a) Lineární $s = a \cdot x$
- b) Exponenciální $s = a \cdot x^n$
Kvadratická $s = a \cdot x^2$
- c) Logaritmická $s = a \cdot \ln x$
- d) Digitální

Přesnosti měřicích přístrojů:

Třída přesnosti je číslo, které udává v procentech odchylku měření z celkového rozsahu měřicího přístroje.

- a) Laboratorní přístroje (nejpřesnější) do 0,5 %
- b) Běžné přístroje do 1,5 %
- c) Informativní přístroje od 1,5 %

5 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLOTY

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [2]

Teplota jako stavová veličina je mírou neuspořádaného pohybu molekul. Její přímé měření není možné. Proto ji určujeme podle změny fyzikálních vlastností látky, která je ve styku s tělesem nebo prostředím, které chceme měřit.

Druhy teploměrů:

- a) Neelektrické teploměry
- b) Elektrické teploměry
 - měření dotykovými teploměry,
 - měření bezdotykovými teploměry.

Teplotní stupnice:

Celsiova stupnice – je určena teplotou tání ledu ve vodě při tlaku 101 325 Pa ($t=0^{\circ}\text{C}$) a teplotou varu vody při stejném tlaku ($t=100^{\circ}\text{C}$).

Kelvinova stupnice – má stejné dělení jako stupnice Celsiova ($T_{100} = T_0$) = 100, ale $0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$, to je nejnižší možná teplota (absolutní nulový bod), při které teoreticky přestává pohyb atomů v látce.

Pro přepočty z Celsiovy stupnice do Kelvinovy stupnice platí vztah:

$$T = t + 273,15 \quad [\text{K}] \quad (14)$$

5.1 Kapalinové teploměry

V současné době se v technickém měření používají většinou elektrické teploměry. Pro některé případy je výhodnější použít klasický kapalinový teploměr. Při měření v provozech jde nejčastěji o ověření údajů elektrických teploměrů. Při měření záleží na druhu použitého skla a druhu teploměrné kapaliny, která určuje rozsah a použitelnost teploměru.

Rozlišujeme:

- smáčivé teploměrné kapaliny (pentan, líh, toluen a jiné),
- nesmáčivé teploměrné kapaliny (rtuť).

Smáčivými kapalinami se měří nízké teploty a používají se tehdy, když je třeba ulehčit odčítání naměřených hodnot (kapalina se může různě obarvit). V porovnání se rtuť reagují pomaleji a nepřesnosti jimi plněnými teploměry je přibližně dvakrát větší než nepřesnost rtuťových teploměrů.

Tyčové skleněné teploměry - které se vyrábí ze silnostěnné kapiláry, na kterou se vyleptá stupnice. Jejich výhodou je tvarová homogenost kapiláry, nevýhodou je horší odčitelnost na stupnici.

Obalové skleněné teploměry – které se vyrábí z tenkostěnné kapiláry se zásobníkem teploměrné kapaliny, který je umístěn ve spodní části teploměru. Ke kapiláře se připevňuje stupnice. Výhodou obalových teploměrů je lehké odčítání hodnot ze stupnice, nevýhodou je jejich nižší přesnost.

Speciálním druhem skleněného rtuťového teploměru jsou teploměry se spínacím kontaktem. Používají se jako spínací prvky, které při určité teplotě spínají nebo rozspínají elektrický obvod.

Vyrábějí se jako:

- teploměry s pevným kontaktem,
- teploměry s nastavitelným kontaktem.

Přesnost měření skleněnými teploměry závisí na správné volbě měřicího rozsahu, dodržení měřicích podmínek teploměru, dělení stupnice a přesnost odečítání ze stupnice.

5.2 Odporové teploměry

Měření odporovými teploměry využívá změnu velikosti elektrického odporu kovů a polovodičů v závislosti na změně jejich teploty. Odpor kovů a slitin se stoupající teplotou roste. Odpor polovodičů typu negistor (NTC) se stoupající teplotou klesá. Odpor polovodičů typu pozistor (PTC) se stoupající teplotou roste.

Na výrobu odporových teploměrů se používá materiál z tabulky 1.

<i>Materiál</i>	<i>Teplota [°C]</i>
Platina	200 - 800
Nikl	70 - 150
Železo	0 - 150
Měď	50 - 150
Polovodiče	80 - 200

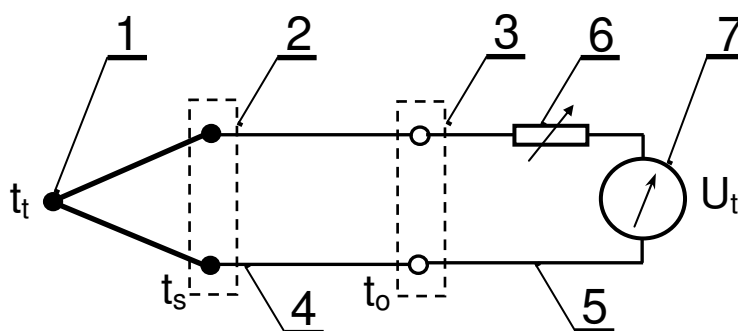
Tabulka 1. Materiály na odporové teploměry

Teploměry se vyrábějí v keramických obalech a v různých typech a provedeních:

- Tyčové snímače se používají na měření teploty taveniny, v pecích, ve vzduchovém a spalovacím potrubí, měří s rozsah 200 až 800 °C.
- Snímače do ochranného pouzdra jsou přizpůsobené na zašroubování do pouzdra v potrubí, měří s rozsahem 200 až 600 °C.
- Snímače s ochranným pouzdem mají vnější závit na zašroubování do matice připravené na potrubí, měří s rozsahem 200 až 600 °C.
- Snímače bez ochranného pouzdra určené na měření v tlakovém prostředí, které nadměrně nenamáhá snímač, měří s rozsahem 200 až 600 °C.

5.3 Termočlánky

Při měření teploty termočlánky (termoelektrickými teploměry) se využívá termoelektrického jevu. Je-li obvod složený ze dvou různých vodivých materiálů, které jsou na konci svařeny (obr. 3.) a spojené konce jsou umístěny v prostředí s různými teplotami, vzniká na opačném konci elektromotorická síla, která je úměrná rozdílu teplot mezi teplým a studeným koncem.



Obr. 3. Schéma zapojení termočlánku s kompenzací

- | | |
|---|------------------------|
| 1- teplý konec termočlánku (měřicí spoj), | 4- kompenzační vedení, |
| 2- svorkovnice pro studené konce, | 5- spojovací vedení, |
| 3- porovnávací spoje, | 6- justační odpor, |
| | 7- měřicí přístroj. |

Termoelektrické napětí U_t , jehož hodnota je přímo úměrná rozdílu teplot $t_t - t_0$, se přivádí kompenzačním vedením na měřicí přístroj. Při měření se porovnávací spoje udržují na konstantní teplotě. Kompenzační vedení se vyrábí ze stejného materiálu jako termočlánek, v případě drahých materiálu jako platina se používají materiály s podobnými termoelektrickými vlastnostmi.

Používané materiály na termočlánky jsou uvedeny v tabulce 2.

<i>Materiál termočláunku</i>	<i>Značka</i>		<i>Rozsah teplot [°C]</i>
Železo-konstantan	Fe -CuNi	J	-200 až 750
Niklchrom Nikl	NiCr -Ni	K	-50 až 1370
Měď- konstantan	Cu - CuNi	T	-200 až 400
Platinarhodium -Platina	Pt10Rh -Pt	S	0 až 1500
	Pt13Rh -Pt	R	0 až 1700
	Pt30Rh -Pt	B	1000 až 1820

Tabulka 2. Materiály na termočláanky

5.3.1 Plášťový termočlánek

V kovové trubce, která je naplněna izolačním materiálem (např. MgO) jsou vloženy jeden, dva nebo tři páry termočláunkových drátků. Konce termočláunkových drátků jsou svařeny v ochranné atmosféře. Konec trubky je zavařený. Technologii postupného protahování průvlakem s mezi žíháním se dosahuje zmenšení průměru, prodloužení pláště a termočláunkových drátů a zhuštění izolační výplně. Proto ani při ohýbání plášťového termočláunku nenastává posunutí a ani zkrat mezi dráty nebo mezi drátem a pláštěm. Výhodou plášťových termočláunků je hodně vyráběných typů, možnost je tvarově upravovat, dlouhá životnost (termočlánek je chráněn pláštěm). Nevýhodou plášťového termočláunku je delší časová prodleva v porovnání s termočláunkem s nechráněným spojem.

5.3.2 Tyčový termočlánek s keramickou ochranou

Termočlánek izolovaný keramickou čtyřkapilárou je vsunutý do vnitřní plynotěsné keramické trubky a spolu s ní do ochranné keramické trubky. Vnější keramickou trubku chrání nosná kovová trubka.

5.3.3 Trubkové termočláanky

Vnější povrch trubkového termočláunku tvoří trubka vyrobená z levnějšího a odolnějšího materiálu použité dvojice kovu. Druhý materiál ve tvaru drátu je svarovým spojem připevněn na vnější trubku. Naproti plášťovým termočláunkům mají výhodu v kratší časové prodlevě.

5.3.4 Termočláunkové vysouvací teploměry

Měří se s nimi teploty plášťů (např. teplota v hořáku). Konstrukce je jednoduchá uvnitř vodou chlazené trubky (plášťové sondy potřebné délky), je vložen termočlánek s nechráněným měřicím spojem. Než se začne měřit je termočlánek zasunutý uvnitř trubky. Po zasunutí sondy do místa měření se vysune asi na vzdálenost 1,5 násobku průměru sondy. Zasouváním měřicího spoje po každém měření do vnitřku trubky se zvyšuje životnost termočláunku. Na vyhodnocování je nejlepší používat milivoltmetr s velkým vnitřním odporem, který udává střední hodnotu z časového intervalu měření.

5.3.5 Termočláňkové odsávací teploměry

Jsou dalším příkladem konstrukce určené na měření teploty plamene. Jejich těleso je tvořené vodou chlazenou plášťovou sondou, kde na konci je termočlánek, chráněný keramickou hlavou. Plyn, kterého měříme teplotu, je přes středovou trubku nasáván vzduchovým ejektorem nebo ventilátorem.

5.4 Infračervené pyrometry

Měří celkovou energii záření, které těleso vysílá ve všech vlnových délkách. Největší část zářivé energie je v infračervené oblasti. Měřicí rozsah přístrojů závisí na použitém optickém a přijímacím systému. Používá se na bezkontaktní měření teploty povrchu a na měření vysokých teplot.

Podmínky měření – vzdálenost od tělesa. Pyrometr měří střední teplotu povrchu, který je v jeho zorném poli optiky. Na stanovení velikosti zorného pole se k přístrojům dodávají diagramy vzdálenosti zorného pole nebo jsou přístroje vybaveny laserovým zaměřovacím systémem.

Emisivita – Na bezkontaktní měření teploty je ideální černý matný povrch nebo hluboký otvor. V obou případech je emisivita přibližně 1. V obecném případě platí, že čím je emisivita povrchu blízká 1, tím je infračervené měření teploty přesnější. Měření teploty lesklých odrazivých ploch (např. leštěný hliník) je při použití infračerveného pyrometru problematické.

Když se infračerveným pyrometrem měří teplota ve větším uzavřeném prostoru, lze vnitřní sálající objem považovat s malou nejistotou za černé těleso. Příkladem je měření teploty ve spalovací komoře kotle přes okno.

Používání pyrometru je problematické pro měření ovlivněné - žářem jiného zdroje, vrstvou skla, dýmovou nebo prachovou clonou.

5.5 Bimetalické teploměry

Principem měření bimetalických teploměrů je využívání rozdílné tepelné roztažnosti vhodně zvolené dvojice kovů. Změnu délky tuhých látek od teploty lze v poměrně širokém intervalu teplot vyjádřit vztahem.

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad [m] \quad (15)$$

Snímač bimetalového teploměru tvoří dva podélně svařené nebo spájené kovové pásky. Základní používané tvary snímačů jsou ploché a spirálové. Bimetalový pásek stočený do rovinné nebo válcové spirály se při změně teploty roztáčí. Bimetalové teploměry se používají pro běžné provozní měření. Teploměry jsou kalibrovány na určitý teplotní rozsah. Vyrábějí se jako rovné, úhlové, vpichovací (jsou vhodné na měření teploty skládek uhlí), příložné (na měření povrchu těles).

5.6 Termovize

Na převod fotonového toku na elektrický signál se používají fotonové, převážně chlazené detektory. U chlazených detektorů je příznivější poměr signál/šum a to hlavně při zobrazování teplotních polí s nižší teplotou (pod 0°C).

Elektrický signál z detektoru je zpracováván v digitální formě a výsledkem je obrázek v černobílé nebo barevné formě.

Na vytvoření termovizního obrázku se používají systémy:

- s jedním detektorem,
- se sloupcovým nebo řádkovým detektorem,
- s mozaikovým detektorem.

Použití termovize v energetice:

- Bezdemontážní diagnostika ve výrobě a rozvodu elektrické energie:
 - kontrola magnetického obvodu elektrických spojů,
 - kontrola sběrných mechanismů a výrobních strojů,
 - kontrola spojek, svorek a prvků v rozvodové síti.
- Kontrola v rozvodech tepla (nadzemní a podzemní rozvody).
- Kontrola ve stavebnictví (problematika úniku tepla přes méně izolované části budovy).

6 METODY MĚŘENÍ TLAKU

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [2]

Co je to tlak? Tlak je kolmo působící síla na jednotku plochy.

$$p = \frac{dF}{dS} \quad [Pa] \quad (16)$$

Základní jednotkou tlaku je Pascal [Pa] – tlak, který vyvolá síla 1 Newtonu, působící kolmo a rovnoměrně na plochu 1 m². Při měření je třeba vždy uvést, zda jde o tlak absolutní nebo relativní.

Hydrostatický tlak

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \quad [Pa] \quad (17)$$

6.1 Kapalinový barometr

Na měření atmosférického tlaku se používá kapalinový barometr se rtuťovou náplní. Trubice přístroje je naplněná rtutí a vakuovaná na tlak 10⁻¹ Pa. Přístroj se volně zavěsí a to zaručuje jeho svislou polohu. Údaje na stupnici se odčítají noniem s přesností ±0,1 mm.

6.2 U-trubice

Ne vždy jsou při jednorázových měřeních k dispozici elektrické tlakoměry. V takovém případě a to hlavně při měření časově málo proměnlivých tlaků, můžeme používat nejjednodušší hydrostatické tlakoměry U-trubice. Jako příklad použití můžeme uvést měření statického tlaku ve spalínovodu. Když se jedno rameno U-trubice nechá přístupné

okolí a druhé se spojí se spalínovodem, měří se přetlak nebo podtlak. V případě, že se ramena spojí s prostorem s rozdílnými tlaky, měříme tlakový diferenciál.

U-trubicový tlakoměr je trubice ve tvaru U nebo dvě rovné, svisle upevněné trubice, které jsou ve spodní části propojené. Tlakoměr se plní zhruba do poloviny kapalinou a tak je třeba používat vhodné kapaliny (tabulka 3.).

<i>Kapalina</i>	$\rho [kg \cdot m^{-3}]$
Etylalkohol	806,3
Destilovaná voda	999,8
Tetrachlór	1632,5
Bromoform	2947
Rtuť	13595,1

Tabulka 3. Používané kapaliny U-trubice

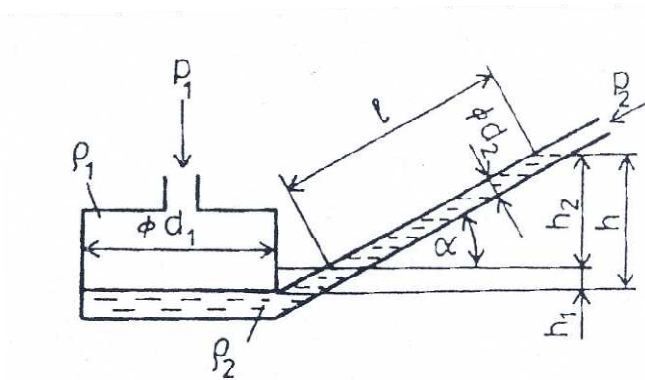
6.3 Mikromanometr

Mikromanometr je přístroj na měření malých tlaků. Je podobný nádobkovému tlakoměru, který může rameno sklopit (obr. 4.) ze svislé polohy a tím zvětšit jeho přesnost. Při dostatečně malém poměru průřezu můžeme změnu výšky hladiny v průřezu 1 zanedbat a odčítat změnu výšky hladiny v průřezu 2. Vhodnou náplní je alkohol zbarvený do oranžova. Před připojením k měřenému prostředí je důležité nastavit přístroj pomocí zabudované vodováhy do vodorovné polohy a zkontrolovat nulovou polohu sloupce kapaliny. V případě potřeby můžeme nulovou polohu upravit změnou množství kapaliny v nádobě.

Mikromanometr může mít dvě provedení:

- s pevným sklonem ramene,
- s nastavitelným sklonem ramene.

$$p = (\rho_{np} - \rho_{pr}) \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{s_2}{s_1} + \sin \alpha \right) \quad [Pa] \quad (18)$$



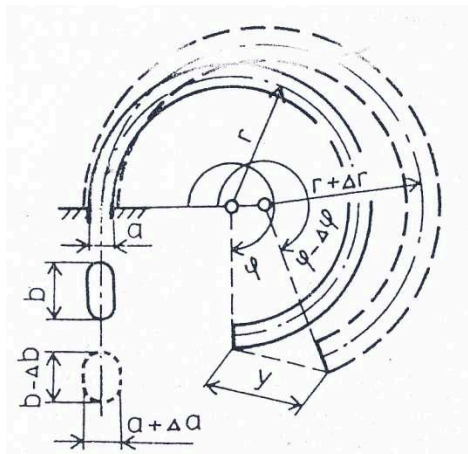
Obr. 4. Mikromanometr se sklopnou trubicí

6.4 Deformační tlakoměry

Deformační tlakoměry jsou nejpoužívanější přístroje k měření tlaků. Využívají změnu geometrického tvaru snímače podle jeho tvaru v oblasti pružné deformace. Při odlehčení snímače se musí vrátit do původního tvaru a polohy.

6.4.1 Tlakoměr s Bourdonovou trubicí

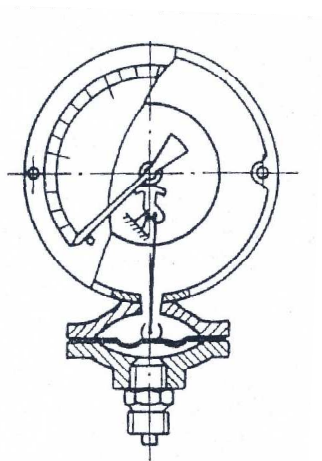
Při působení přetlaku se eliptický průřez snímacího prvku přetvoří na kruhový průřez (obr. 5.). Používá se od podtlaku 0,1 MPa do přetlaku 160 MPa. Pro nízké tlaky se vyrábí z mosazi a pro vyšší tlaky se dělají z oceli. Nejčastěji se používají na měření časově málo proměnlivých tlaků a medií, které nepůsobí korozivně.



Obr. 5. Deformace Bourdonovy trubice

6.4.2 Membránové tlakoměry

Snímacím prvkem membránového tlakoměru je kruhová membrána. Zvlněná nebo prohnutá membrána (obr. 6.) se používá k úpravě charakteristik, vztahu mezi působícím tlakem a vzniklým prohybem. Kovové membrány jsou dostatečně tuhé, membrány z plastů nedosahují dostatečné tuhosti a tak se přidává ještě pružina. Prohnutí membrány bývá poměrně malé (do 2 mm) a proto se musí používat převodových mechanismů pro lepší odečet na stupnici. Membránové tlakoměry nejsou příliš citlivé na otřesy a nárazy a proto se používají v provozech.



Obr. 6. Membránový tlakoměr

6.4.3 Membránové tlakoměry s elektrickou indikací

Používá se na měření pulzujícího tlaku s vysokou frekvencí. Membrána je citlivá na přetížení, což znamená, že se nemusí vrátit do základní polohy nebo se do ní vrací skokově. Používají se kovové membrány. Prostor mezi membránami se obvykle vyplňuje tlumícím olejem. Mezi membránami je lůžko, na které při přetížení dosedne jedna z membrán a tím zabrání jejímu poškození.

6.4.4 Membránové tlakoměry s krabicovými membránami

Jejích snímacím prvkem je krabice tvořena dvěma membránami, kde se dovnitřku přenáší měřený tlak. Tímto uspořádáním se dosahuje větší citlivosti. Na měření atmosférického tlaku (absolutního tlaku) se používá membrána s odvodušněnou krabicí, která je vložena do vzduchového pouzdra, do kterého se přivádí měřený tlak.

6.5 Elektrické tlakoměry

Na automatickou regulaci se používají tlakoměry s elektrickým výstupním signálem. Používané principy s převodníkem kapacity, magnetickým, piezoelektrickým a tenzometrickým.

Snímače s polovodičovými lepenými tenzometry.

Vstupující tlak působí na deformační člen (vlnovec nebo membrána). Tlak působí na střed membrány nebo čelo vlnovce, který působí na pružný tenzometrický siloměrný člen, ten je tvořený jednostranně vetknutým nosníkem, který je namáhaný v oblasti pružné deformace. Na nosníku jsou nalepené dva polovodičové tenzometry na tlakové straně a dva na tahové straně. Polovodičový tenzometr je proužek získaný z řezu monokrystalu křemíku. Vývody tenzometru jsou vyvedeny na kompenzační destičku a propojeny do můstku. Můstek je udělaný tak, aby na siloměrný člen nepůsobila žádná síla. Nelineární závislost se kompenzuje aktivním tenzometrem, závislost z teploty okolí zase termistorem.

Snímače s polovodičovým difundovaným tenzometrem

Využívá jako pružný prvek kruhovou křemíkovou membránu. V místě, kde při zatížení membrány vzniká tlak (tah), se difuzní technologií vytvořené odpory zapojí do můstku. Výstupní signál z keramického snímače je nastaven tak, aby bez výstupního tlaku byl nulový a při maximálním rozsahu byl 40 mV. Elektrický systém měření má tři základní prvky – převodník, zdroj a přístroj na zjišťování hodnot.

Podle výstupního signálu je možné rozdělit elektrické tlakoměry:

- Milivoltový systém, převodník je oddělený od ostatních prvků. Systém musí mít napájecí zdroj s konstantním napětím.
- Napěťový systém se zesilovačem. Zesilovač a převodník je v jednom tělese. Systém je slučitelný s většinou regulačních obvodů.
- Systém s proudovým výstupem 4 až 20 mA. Proudový výstup umožňuje přenos signálu na větší vzdálenosti. Tento systém se používá v průmyslových regulačních obvodech. Na napájení se využívá zdroje s napětím do 45 V.

7 MĚŘENÍ PRŮTOKU

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [2]

Množství látky (plyny, vzduch, pára), která proteče potrubím nebo kanálem za časovou jednotku se označuje jako průtok. Průtok můžeme vyjadřovat v jednotkách objemových $[m^3 \cdot s^{-1}, l \cdot s^{-1}, m_N^3 \cdot s^{-1}]$ nebo hmotnostních $[kg \cdot s^{-1}, l \cdot s^{-1}, t \cdot h^{-1}]$.

Objemových

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta \tau} = S \cdot \bar{w} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (19)$$

Hmotnostních

$$m = \frac{\Delta M}{\Delta \tau} = S \cdot \bar{w} \cdot \rho_m \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (20)$$

Při přepočtu průtoku na časovou jednotku liší se od jednotky, při které byl určován průtok, musí být splněna podmínka konstantního průtoku. Z definování objemového a hmotnostního průtoku vyplývá, že když známe měrnou hmotnost a průřez, můžeme průtok určit měřením objemu nebo rychlosti.

Vhodnou volbu metody měření průtoku v konkrétních případech ovlivňují následující podmínky:

- podmínky měření (v potrubí nebo v kanále),
- fyzikální a chemické vlastnosti měřené látky,
- tlak a teplota protékající látky,
- množství parametry a maximální průtok,
- přesnost měření,
- účel měření (jednorázové, regulační nebo trvalé měření).

Z hlediska používání se rozlišují zabudované a mobilní měřidla průtoku.

7.1 Rychlostní průtokoměry

Oběžné kolo rychlostního průtokoměru je poháněno proudem měřené tekutiny. Počet otáček (n) oběžného kola je úměrný rychlosti proudění.

Objemový průtok Q můžeme určit podle vztahu:

$$Q = k_1 \cdot n + k_2 \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (21)$$

Měřidla, která ukazují přímo v objemových jednotkách za časový interval, se vyrábějí jako suchá nebo mokrá měřidla.

7.2 Objemové průtokoměry

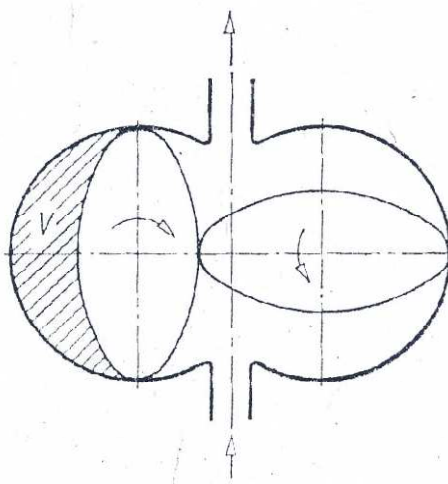
Objemovými průtokoměry se měří objem tekutiny, který proteče za určitý čas. A proto patří toto měření k absolutním měřicím metodám. Používá se v provozech, ale je také vhodné, je používat ke kontrole jiných průtokoměrů.

Rozlišujeme je z hlediska kontinuity měření:

1. Objemové průtokoměry s přerušovanou činností. Objem kapaliny se určuje kalibrovanými nádobami. Objem plynů se určuje buď při konstantním statickém tlaku, anebo při konstantním objemu odměřené nádoby. Využívají se k ověřování jiných průtokoměrů.
2. Objemové průtokoměry s nepřerušovanou činností se využívají k měření v rozvodné síti jako vodoměry, plynoměry a měřidla průtoku kapalných paliv.

7.2.1 Tělesové měřidla

V těle měřidla se pohybují dvě oválná tělesa, která využívají ozubení přímo na oválných tělesech, nebo pomocí ozubených kol (obr. 7.). Rozdílem tlaku na přední a zadní straně těles dojde k jejich otáčivému pohybu, a tím i k odměřování tekutiny. Nevýhodou jsou velké požadavky na čistotu měřené látky. Při znečištění měřené látky se rychle zmenšuje přesnost měření. Měřidlo se může používat k měření organických kapalin, v petrochemickém průmyslu, anebo k měření průtoku plynů.



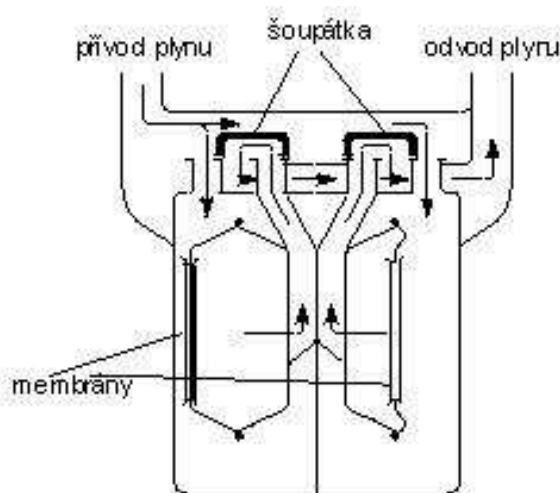
Obr. 7. Tělesové měřidlo

7.2.2 Kroužkové měřidla

V kruhové komoře se náboj kruhového pístu ovaluje okolo pevného čepu, přičemž venkovní válcová plocha pístu klouže po vnitřní ploše kruhové měřicí komory. Používají se na měření malých množství kapalin. Jsou velmi citlivé na mechanické znečištění kapaliny.

7.2.3 Membránové měřidla

Membránová měřidla jsou uzavřená měřidla, uvnitř plní funkci pístu plní membránové stěny odměřených komor. Jsou jednokomorová nebo vícekomorová. Na (obr. 8.) je dvoukomorový suchý plynoměr. Dva prostory jsou vytvořené membránami ze syntetických materiálů a kovovými stěnami, tím je zabezpečena stabilita, odolnost proti působení měřených plynů a dlouhá životnost.



Obr. 8. Dvoukomorový suchý plynoměr

7.3 Měření průtoku rychlostními sondami

Při stanovení průtoku jednorázovým měřením se nejčastěji používají rychlostní sondy, které měří dynamický tlak v proudící tekutině. Celková velikost tlaku p_c v jakémkoliv směru je dána součtem statického tlaku p_s a dynamického tlaku p_d v průmětu daného směrem (22).

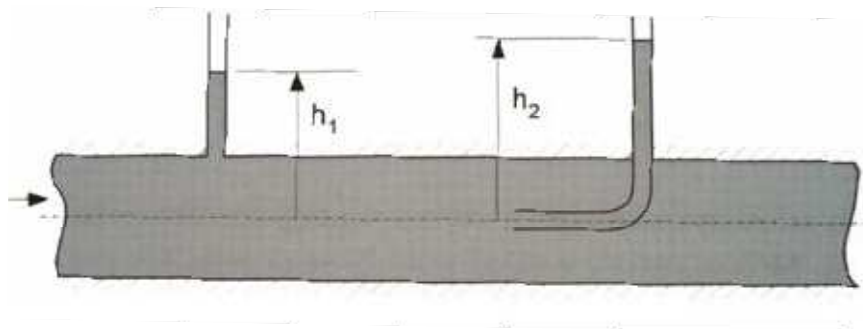
$$p_c = p_s + p_d \cdot \cos \beta = p_s + \frac{1}{2} \cdot \rho_p \cdot \omega^2 \cdot \cos \beta \quad [Pa] \quad (22)$$

a když známe hustotu tekutiny ρ_p , můžeme si vypočítat rychlost:

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_c - p_s)}{\rho_p}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (23)$$

7.3.1 Pitotova trubice

Je nejjednodušší a nejstarší rychlostní sonda používaná na měření průtoku tekutin. Pitotova trubice je na (obr. 9.). Nevýhodou použití Pitotovy sondy je měření celkového a statického tlaku. A můžeme si vypočítat celkový, statický tlak pomocí vztahu (22) a vypočítat rychlost v potrubí ze vztahu (23).



Obr. 9. Pitotova trubice

7.3.2 Prandtlova trubice

Prandtlova trubice je zvláštní případ uspořádání Pitotovy trubice, je uzpůsobená tak, že měří tlak p_c i p_s v jednom místě trubice. Celkový tlak se snímá otvorem v čele sondy a statický tlak je určován štěrbinami ve válcové části sondy.

7.3.3 Kolenový průtokoměr

Kolenový průtokoměr je založen na dynamickém účinku proudu tekutin. Při působení odstředivé síly vzniká při průtoku kolenem tlaková difference $\Delta p = p_1 - p_2$ a tlaková difference je největší v ose souměrnosti kolene. Objemový průtok si vypočítáme podle vztahu (24)

$$Q = \alpha_k \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\rho_1}} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (24)$$

7.4 Vírové průtokoměry

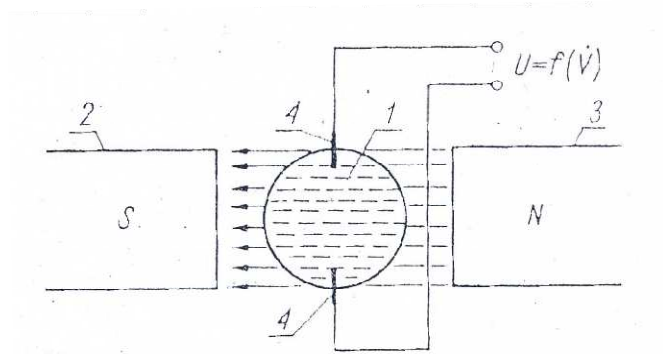
U vírových průtokoměrů se využívá fyzikálního jevu tvorby vírů v proudící tekutině za tělesem. Při obtékání tělíska se za ním tvoří turbulentní zóna. Tělísko je neaerodynamického tvaru, umístěno kolmo na směr proudění tekutiny. Četnost vytváření virů je přímo úměrná rychlosti proudění. Turbulentní zóna s uspořádanými víry je známa jako Karmanova vírová dráha.

Pro měření rychlosti proudu můžeme tedy snímat frekvenci tvorby virů za tělískem. Nečistoty v plnu mohou ovlivňovat tvorbu virů a kolísání tlaku v Karmanové vírové dráze a tím ovlivňovat měřenou hodnotu. Podobné to je, když jsou kapičky vody v proudu páry při přechodu přehřáté páry do oblasti mokré páry pod mezní křivku a může ovlivnit nebo dokonce znemožnit měření.

7.5 Indukční průtokoměry

Při pohybu elektrického vodiče v magnetickém poli tak se ve vodiči indukuje napětí (obr. 10.).

$$U = k \cdot B \cdot w_p \cdot L \quad [V] \quad (25)$$



Obr. 10. Schéma měření indukčním průtokoměrem

Nejdůležitější podmínkou pro použití indukčního průtokoměru je elektrická vodivost měřené látky. Indukované napětí se snímá dvěma elektrodami, které musí být v kontaktu s proudící látkou nebo můžou být snímány bezkontaktním kapacitním systémem. Aby se indukované napětí neodvedlo potrubím, musí být těleso snímače s elektricky nevodivého materiálu nebo musí být vnitřní povrch snímače pokryt izolační vrstvou. Signál se zpracovává tak, že frekvenci výstupního proudu impulzu odpovídá průtok. Indukční průtokoměry neovlivňují tyto změny měrné hmotnosti, viskozity, tlaku a teploty v měření. Měření neovlivní ani tvar rychlostního profilu. Indukční průtokoměry mají malou tlakovou ztrátu a měří průtok v obou směrech. Používají se na měření průtoku vody (ale musí být splněna podmínka minerální vodivosti) a využívá se v chemickém průmyslu na měření průtoku různých kapalin.

7.6 Měření průtoku clonami, dýzami a Venturiho trubicí

Pro měření průtoku škrticími prvky, například clonou, se využívá zmenšení průtokového průřezu díky čemuž se zvýší kinetická energie na úkor tlakové energie. Rozdíl statických tlaků před a za clonou se měří odběry tlaků, přes otvory nebo štěrby ve stěně potrubí. Škrticí prvek s příslušným odběrem tlaku se označuje jako primární prvek. Přístrojů měřící rozdíl tlaku (diferenční tlak) nebo jiné termofyzikální veličiny se říká sekundární prvek. Ze zákona o zachování energie a rovnice kontinuity byl vyjádřen vztah pro výpočet hmotnostního průtoku přes primární prvek (26).

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (26)$$

8 PRŮMYSLOVÉ PLYNY

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [3]

V této kapitole je uveden základní přehled topných průmyslových plynů a blíže popsány topné plyny využívané při stanovování účinnosti kotle.

Průmyslový plyn je každý plyn, který obsahuje hořlavé složky (kysličník uhelnatý, vodík a plynné uhlovodíky). Nezáleží na tom, jestli byl plyn přírodního původu nebo uměle vyroben anebo jestli vznikl jako odpadní produkt při technologickém procesu.

Plyny můžeme zařadit do čtyř skupin podle jejich výhřevnosti. Podle ní můžeme plyny rozdělit na plyny málo výhřevné s výhřevností do $8,35 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$, plyny středně výhřevné s výhřevností od $8,36$ do $12,25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$, plyny velmi výhřevné s výhřevností od $12,26$ do $20,08 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$, plyny velmi vysoce výhřevné s výhřevností nad $20,08 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$.

8.1 Topné plyny málo výhřevné

Přehled a složení málo výhřevných plynů v tabulce 4.

- Plyn z horkého chodu generátoru při výrobě vodního plynu.
- Plyn z kuploven.
- Vysokopecní (kychtový) plyn.
- Generátorový plyn z koksu, z černého uhlí nebo z hnědého uhlí.
- Zemní plyn reformovaný vzduchem.
- Směsný plyn (je složen z plynu vysokopecního, generátorového, karbonizačního, vodíka a ostatních).
- Ostatní plyny málo výhřevné (například plyn vznikající při výrobě sazí, různé odpadní plyny jako například antracitový, pecní, koksový).

<i>Druh plynu</i>	<i>Složení plynu (objem. %)</i>						Q_i^r [MJ · m ⁻³]
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	CO ₂	
Plyn z horkého chodu generátoru	13	5	3	0,5	65,5	13	3,73
Plyn z kuploven	12,1	-	-	-	74,4	13,5	1,54
Vysokopecní plyn	26	2	0,4	-	59,6	12	3,66
Generátorový plyn z koksu	29,6	1	0,2	-	66,2	3	3,93
Generátorový plyn z černého uhlí	30,5	12	2	0,3	54	1,2	5,85
Generátorový plyn z hnědého uhlí	23,4	11,3	0,6	-	55,9	8,8	4,38
Zemní plyn reformovaný vzduchem	13	30	1,6	-	50,9	4	5,45

Tabulka 4. Druhy málo výhřevných plynů

8.1.1 Vysokopecní plyn

Vysokopecní plyn nebo také kychtový plyn, vzniká při redukčních procesech ve vysoké peci nedokonalým spalováním koksu a uvolňováním CO₂ z vápence, který je součástí vsázky. Je tedy vedlejším produktem při výrobě surového železa ve vysoké peci. Složení plynu (tabulka 5.) je závislé na druhu vyráběného surového železa, na spotřebě koksu, na složení vsázky a na dalších podmínkách provozu. Vysokopecní plyn je charakteristický tím, že obsahuje málo metanu CH₄, vodíku H₂ a je téměř bez síry. Plyn je bez zápachu a prudce jedovatý díky vysokému obsahu kysličníku uhelnatého. Při využívání vysokopecního plynu je největším problémem prach. Vysokopecní plyn v průměru obsahuje 30 g·m⁻³ prachu.

<i>Složení plynu</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
CO ₂	6 až 12	%
CO	28 až 33	%
H ₂	1,5 až 2,5	%
CH ₄	0,2 až 0,5	%
N ₂	55 až 60	%
Výhřevnost plynu	3,35 až 4,22	[MJ · m ⁻³]

Tabulka 5. Složení vysokopecního plynu

8.2 Topné plyny středně výhřevné

Do této skupiny plynů patří:

- Plyn z nízkoteplotní karbonizace hnědého uhlí.
- Vodní plyn z koksu a z uhlí (dvojplyn).
- Zemní plyn reformovaný párou.
- Propanbutanový plyn (reformovaný vzduchem a reformovaný párou).
- Konvertorový plyn.
- Směsný plyn (složený z vysokopecního plynu, generátorového, karbonizačního a jiných).
- Ostatní středně výhřevné plyny.

<i>Druh plynu</i>	<i>Složení plynu (objem. %)</i>							Q_i^r [MJ · m ⁻³]
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	CO ₂	O ₂	
Plyn z nízkoteplotní karbonizace	9	18	17	0,3	8,4	47	-	9,7
Vodní plyn z koksu	41	49,5	1	-	4	4,5	-	10,8
Vodní plyn z uhlí (dvojplyn)	30	47	7,6	1,4	6	8	-	12,8
Zemní plyn reformovaný párou	3,9	43,2	11,7	-	29,4	11,8	-	9,3
Propanbutanový plyn reformovaný vzduchem	10,8	25,1	-	5,4	50,7	8	-	9,05
Propanbutanový plyn reformovaný párou	13,7	31,9	-	4,6	43	6,8	-	9,32
Konvertorový plyn	71	1,5	-	-	11	15	1,5	9,8

Tabulka 6. Složení topných středně výhřevných plynů

8.2.1 Konvertorový plyn

Konvertorový plyn vzniká oxidací uhlíku v surovém železe plynným kyslíkem, který se v konvertoru dmýchá na lázeň. Energie potřebná pro zkujňování surového železa v kyslíkovém konvertoru je zajišťována oxidací doprovodných prvků v surovém železe (C, Mn, Si a P). Asi polovina potřebné energie se do konvertorového procesu přivádí uvedenými exotermickými reakcemi a zbytek entalpií surového železa. Na výstupu z konvertoru se asi jedna třetina energie odvádí jako chemicky vázané teplo konvertorového plynu, asi 65 % jako entalpie konvertorového plynu, oceli, strusky a zbývající část jako tepelné ztráty. Konvertorový plyn odnáší tedy asi 40 % přivedené energie ať, už formou chemicky vázaného tepla nebo entalpie. Složení konvertorového plynu se může pohybovat v rozmezí podle tabulky 7.

<i>Složení plynu</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
CO ₂	10 až 20	%
CO	65 až 90	%
H ₂	0 až 3	%
O ₂	0 až 3	%
N ₂	2 až 20	%
Výhřevnost plynu	8,2 až 11,6	[MJ · m ⁻³]

Tabulka 7. Složení konvertorového plynu

8.3 Topné plyny velmi výhřevné

Mezi velmi výhřevné topné plyny patří:

- Karburovaný plyn.
- Svítiplyn.
- Koksárenský plyn.
- Plynárenský plyn.
- Tlakový hnědouhelný plyn.
- Ostatní velmi výhřevné plyny.

Složení velmi výhřevných plynů v tabulce 8.

<i>Druh plynu</i>	<i>Složení plynu (objem. %)</i>							<i>Q_i^r</i> [MJ · m ⁻³]
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	CO ₂	O ₂	
Koksárenský plyn (Svítiplyn)	6,6	47,9	23,1	2,4	16,4	3,4	0,2	16,2
Plynárenský plyn (Svítiplyn)	10	47	22,4	1,6	14,3	4,2	0,5	15,2
Tlakový hnědouhelný plyn (Svítiplyn)	13,3	62,6	16,9	0,2	3	3,8	0,2	14,7
Karburovaný vodní plyn	31	42,5	11	7	4	4,5	0,2	16,9
Karburovaný reformovaný zemní plyn	9	26,5	26,5	-	33,5	4,5	-	13,5

Tabulka 8. Složení topných velmi výhřevných plynů

8.3.1 Koksárenský plyn

Koksárenský plyn se vyrábí z černého uhlí v koksárenských pecích. Vyrábí se za podobných podmínek jako svítiplyn, ale s tím rozdílem, že v koksovnách je primárním produktem koks a vedlejším plyn. Složení a vlastnosti plynu závisí na použitém druhu uhlí, druhu vyráběného koksu, stáří koksové baterie, způsobu karbonizace. Koksárenský plyn je lehčí než vzduch. Nejčastěji se používá v hutích, hoří málo svítivým plamenem. Složení koksárenského plynu je v tabulce 9.

<i>Složení plynu</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
CO ₂	3 až 4	%
CO	6 až 8	%
H ₂	52 až 54	%
O ₂	0,2 až 0,5	%
CH ₄	23 až 24	%
C _n H _m	2,5 až 3	%
N ₂	8 až 12	%
Výhřevnost plynu	15	[MJ] · m ⁻³

Tabulka 9. Složení koksárenského plynu

8.4 Topné plyny velmi vysoce výhřevné

Do této skupiny jsou zařazeny tyto plyny:

- Zemní plyn (naftový a karbonský).
- Olejový plyn.
- Propanbutanový plyn.
- Plyny z hydrogenace uhlí a dehtových olejů.
- Plyny z krakování nafty.
- Ostatní plyny velmi vysoce výhřevné.

Složení velmi vysoce výhřevných plynů je v tabulce 10.

<i>Druh plynu</i>	<i>Složení plynu (objem. %)</i>							<i>Q_i^r</i> [MJ · m ⁻³]
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	CO ₂	O ₂	
Zemní plyn naftový	95,5	-	-	-	2,9	1,6	-	34,1
Zemní plyn karbonský	83,3	3,1	3	0,2	4,9	-	0,5	36,6
Olejový plyn	55,1	31	31	31	3,3	0,5	-	41,8
Propanbutanový plyn	-	5,5	93,8	0,7	-	-	-	92
	-	-	15,1	84,9	-	-	-	119

Tabulka 10. Složení velmi vysoce výhřevných plynů

8.4.1 Zemní plyn

Zemní plyn je plyn přírodního původu a vyznačuje se vysokým obsahem metanu CH₄. Rozdělují se podle výskytu na zemní plyn naftový, ten se může vyskytovat s ropou nebo se vyskytuje samostatně a zemní plyn karbonský (tabulka 11.), který je uhelného původu. Může se vyskytovat ještě plyn degazační, ten vzniká odplyněním černouhelných dolů během těžby. Výhřevnost degazačního plynu je nižší a kolísá. Degazační plyn se liší od zemního plynu naftového vyšším obsahem dusíku.

<i>Složení plynu</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
CO ₂	0,13	%
CO ₂	0,13	%
C _n H _m	1,97	%
N ₂	0,8	%
Výhřevnost plynu	36,14	[MJ] · m ⁻³

Tabulka 11. Složení zemního plynu

9 EMISE

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1]

Plynné spaliny jsou produktem spalování paliv a jsou směsí jednotlivých složek, které vznikají po spálení hořlavých složek paliva. Navíc se ve spalinách objeví dusík, který se přivedl do spalovacího procesu se spalovacím vzduchem. Kromě plyných složek mohou spaliny obsahovat i tuhé částice ve formě sazí.

Do hořlavých složek topných plynů patří především: kysličník uhelnatý CO, vodík H₂, metan CH₄, propan C₃H₈, butan C₄H₁₀, sirovodík H₂S, sirouhlík C₂S a další uhlovodíky. Při dokonalém spálení paliva vzniknou tyto základní složky: kysličník uhlíčitý, vodní pára a dusík, ale mohou také obsahovat i další složky: kysličníky síry (SO₂ a SO₃), kysličníky dusíku (NO a NO₂, které se také označují NO_x).

Způsobů stanovení koncentrace je velké množství. V následující kapitole jsou uvedeny principy využívané při jednorázových energetických měřeních.

9.1 Měření koncentrace CO, SO₂, NO_x a O₂ ve spalinách při stanovení plyných emisí

Koncentrace CO, SO₂, NO_x jsou měřeny kontinuálním analyzátozem pracujícím na principu absorpce infračerveného záření. Odběr vzorků spalin je uskutečňován pomocí vyhřívané sondy s vyhřívaným filtrem pro odloučení tuhých částic, za kterým je připojeno vytápěné vedení vzorku k zabránění kondenzace odebíraného vzorku spalin při jeho dopravě, na konci vytápěného vedení je instalována chladnice plynu, v níž dochází k odloučení vlhkosti ze spalin. Takto upravený vzorek je zaveden do analyzátoru, který je před měřením kalibrován pomocí instalovaných kalibračních kyvet, nebo směsi kalibračních plynů.

Výsledky jsou vyjádřeny v miligramech CO, SO₂ v 1 m³ suchých spalin za normálních podmínek, vztaženy na referenční obsah O₂. Koncentrace oxidů dusíku jsou vyjádřeny v miligramech Nox přepočtených na NO₂ v 1 m³ suchých spalin za normálních podmínek, vztaženy na referenční obsah O₂.

9.2 Koncentrace O₂

Ve spalínách je měřena kontinuálním analyzátozem pracujícím na principu paramagnetických vlastností kyslíku. Naměřené hodnoty jsou vyjádřeny v objemových procentech O₂ ve spalínách a slouží jako vztažené veličiny pro referenční přepočty.

9.3 Měření koncentrace tuhých znečišťujících látek

Tuhými znečišťujícími látkami se pro účely měření emisí stacionárních zdrojů rozumí tuhé částice aerosolů zachycené na filtrech nebo částice libovolného tvaru, struktury nebo hustoty rozptýlené v plynné fázi, které mohou být zachyceny filtrací za určených podmínek po reprezentativním odběru vzorku sledovaného plynu a které zůstanou na filtru i po sušení.

Pro stanovení obsahu TZL se používají dvě upravené manuální gravimetrické metody:

První metody je použito k určení hmotnostních koncentrací v rozsahu od 5 mg·m⁻³ do 10 000 mg·m⁻³. Je to v první řadě referenční metoda pro stanovení částic pevného skupenství emitovaných ze stacionárních zdrojů. Může být také použita pro kalibraci automatizovaných systémů monitoringu tuhých částic.

Druhou metodou je rozhodčí metoda stanovení nízkých hodnot hmotnostní koncentrace prachu v plynech proudících potrubím při hmotnostních koncentracích nižších než 50 mg·m⁻³ po přepočtu na normální stavové podmínky. Podle požadavků se provádějí tři jednotlivá měření v trvání nepřetržitě 30 minut pro každé jednotlivé dílčí měření. Vzorky pro stanovení koncentrací TZL jsou odebírány izokinetickou gravimetrickou soupravou, skládající se z vytápěné odběrové sondy s vyhřívaným pouzdrem, kde je umístěn filtr pro zachyt částic, chladničky spalín a řídicí jednotky s lamelovým čerpadlem. V průběhu izokinetického vzorkování se měří Prandtlovou trubicí rychlost plynu ve vzorkovacím bodě v potrubí a na základě takto získané hodnoty se automaticky reguluje příslušný průtok vzorkovaného plynu. Teplota plynu a vlhkost se zároveň měří sondou se snímačem teploty a vlhkosti. Jako filtrační materiál jsou použity ploché filtry ze skleněných vláken pro částice 0,3-0,5 μm. Odebrané vzorky jsou sušeny do konstantní hmotnosti a váženy na analytických vahách.

10 SPALOVÁNÍ TOPNÝCH PLYNŮ V KOTLI

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [4]

Cílem práce je stanovení účinnosti parního kotle při spalování směsi topných plynů. Pro tyto účely byly využity výsledky měření na plynovém kotli o tepelném výkonu 80 t·h⁻¹, které provedli pracovníci katedry energetiky v roce 2011.

Plynový kotel je jednobubnový s přirozenou cirkulací, vodotrubný, samonosný, podtlakový. Je určen pro spalování směsi průmyslových plynů ve čtyřech plynových hořácích, které jsou umístěny v přední stěně kotle. Kotel je vybaven radiálním

vzduchovým ventilátorem a spalovacím ventilátorem. Pro dodržení požadované teploty přehřáté a přihřáté páry při snížených výkonech slouží recirkulace spalin.

Kotel je třítahový. První tah je tvořen spalovací komorou, která se skládá s membránových stěn. Ve směru proudění spalin jsou ve druhém tahu umístěny vodorovné hady přehříváků páry PR1, PR2 a dva svazky EKO. Teplota přehřáté páry se reguluje vstřikováním napájecí vody za přehřívák PR1 a za přihřívák páry. Ve třetím tahu, který tvoří plechový kanál, ve kterém jsou umístěny dva svazky ohřívače vody EKO1 a trubkový ohřívač vzduchu.

EKO1 je určen pro dosažení vyšší účinnosti kotle. Ohřívač vzduchu má nainstalované obtokové kanály za účelem regulace výstupní teploty spalin za kotlem (nepodkročení rosného bodu spalin). Tlakový celek je vybaven trvalým odluhem pro dodržení kvality výstupní páry. Další technická data kotle v tabulce 12.

Přehřátá pára VT		
Jmenovitý výkon VT páry	80	$t \cdot h^{-1}$
Minimální výkon VT páry	28	$t \cdot h^{-1}$
Tlak VT páry na výstupu z kotle	12	MPa
Teplota VT páry na výstupu z kotle	495	°C
Teplota napájecí vody	115	°C
Přihřátá pára ST		
Výkon ST páry	max. 110	$t \cdot h^{-1}$
Tlak ST páry z kotle	1,8 – 2,2	MPa
Teplota ST páry	380	°C
Spaliny		
Teplota spalin za kotlem (před komínem):		
	min. 125	°C (chudý plyn)
	min. 113	°C (průměrný plyn)
	min. 118	°C (bohatý plyn)
Palivo		
Vysokopecní plyn	80 000	$m_N^3 \cdot h^{-1}$
Konvertorový plyn	15 000	$m_N^3 \cdot h^{-1}$
Zemní plyn	5000	$m_N^3 \cdot h^{-1}$
Koksárenský plyn	pouze pro stabilizaci	

Tabulka 12. Technická data kotle

11 MĚŘENÍ PROVÁDĚNA NA PLYNOVÉM KOTLI PRO ZÍSKÁNÍ DAT

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1] a [4]

11.1 Měření teploty

Teploty byly měřeny dvěma způsoby:

- a) Plášťovaným termočlánkem NiCr-Ni \varnothing 3mm. Měřená napětí byla od termočlánku svedena kompenzačním vedením do měřicího systému a zaznamenávána po celou dobu měření ve zvoleném intervalu.
- b) Odporovým teploměrem Pt₁₀₀ propojeným s měřicím systémem pomocí 4-vodičového zapojení. Měřené odpory byly přepočteny v měřicím systému na teploty a zaznamenávány po celou dobu měření ve zvoleném intervalu.

11.1.1 Měření teploty páry a napájecí vody

Teplota páry a napájecí vody byly měřeny teploměry Pt₁₀₀ ve volné teploměrné jímce umístěné v blízkosti provozních teploměrů.

11.1.2 Měření teploty nasávaného vzduchu

Pro porovnání se vztaženou teplotou 25°C byla měřena teplota vzduchu ve vstupním potrubí čtvercového průřezu, v sání vzduchového ventilátoru. Měření bylo prováděno dvěma teploměry Pt₁₀₀.

11.1.3 Měření teploty spalin

Měření teplot spalin v kouřovodu za kotlem bylo provedeno síťovou metodou. Ve zvolených bodech průřezu kouřovodu byly rovnoměrně umístěny termočlánky typu „K“. Měření bylo provedeno ve svislé části spalinového kanálu za poslední teplosměnou plochou před vstupem spalin do kouřového ventilátoru, v kouřovodu obdélníkového průřezu. Termočlánky byly umístěny rovnoměrně ve 4 přímkách po 4 ks na každé přímce.

11.2 Měření statických a diferenčních tlaků

Statické a diferenční tlaky přehřáté, přihřáté páry a napájecí vody byly měřeny kalibrovanými tlakovými snímači požadovaného rozsahu s elektrickým výstupem. Nejistota měření těchto tlakoměrů byla menší než 0,2 %. Výstupní signály byly trvale zaznamenávány po celou dobu měření ve zvoleném intervalu. Tlakové snímače byly připojeny impulsním potrubím paralelně k provozním tlakovým snímačům.

11.3 Měření průtoku

11.3.1 Měření průtoku páry a napájecí vody

Hmotnostní průtok výstupní přehřáté páry, přihřáté páry a napájecí vody byl měřen pomocí provozního škrticího orgánu. Hmotnostní průtok byl v průběhu měření počítán z měřených hodnot na škrticím orgánu a zaznamenáván měřicím systémem ve zvoleném intervalu.

11.3.2 Měření množství spalovaných plynů

Množství spalovaných energetických plynů (Vysokopečního, Koksárenského, Konvertorového, Zemního plynu) spalovaných v kotli bylo měřeno a vyhodnocováno pomocí provozního měření. Pro provozní měření množství plynů jsou použity škrticí orgány, které jsou instalovány ve vstupních potrubích koksárenského plynu do jednotlivých hořáků. Naměřená množství byla převzata z řídicího systému kotle.

11.4 Měření koncentrace O₂ ve spalínách za kotlem

Měření koncentrace kyslíku ve spalínách na výstupu z kotle bylo prováděno sít'ovou metodou. Měření bylo provedeno ve svislé části spalínového kanálu za poslední teplosměnnou plochou před vstupem spalín do kouřového ventilátoru, v kouřovodu obdélníkového průřezu. Měřicí body pro odběr vzorku spalín byly umístěny rovnoměrně ve 4 přímkách po 4 ks na každé přímce.

Ve zvolených měřicích bodech po průřezu byla vždy umístěna odběrová sonda, k níž bylo připojeno vedení vzorku. Pomocí této sondy a vzduchotěsného ventilátoru byl odsáván vzorek spalín do odběrových vaků. V odebraném vzorku byla, po odloučení tuhých nečistot a vlhkosti, stanovena koncentrace O₂ pomocí analyzátoru, pracujícího na principu paramagnetických vlastností kyslíku.

11.5 Měření koncentrací plynných složek spalín na vstupu do komína

Měření koncentrace plynných složek spalín (CO, SO₂, NO_x, O₂) bylo provedeno akreditovanou laboratoří.

Pro stanovení koncentrace plynných emisí byl vzorek spalín, odebíraný ze svislého kouřovodu obdélníkového průřezu před vstupem do kouřového ventilátoru, v blízkosti provozního odběru emisního monitoringu, dopraven k příslušným analyzátorům pomocí samostatné odběrové trasy. Výsledné koncentrace plynných emisí vyhodnocené akreditovanou laboratoří, byly získány zpracováním měřených dat, snímaných v 10 sekundových intervalech a ukládaných v průběhu měření.

Princip měření koncentrace byl popsán v kapitole 9.1.

11.6 Měření koncentrací TZL ve spalínách na vstupu do komína

Měření koncentrace emisí TZL bylo provedeno akreditovanou laboratoří.

Měření bylo provedeno gravimetrickou aparaturou. Měřicí místo pro stanovení koncentrace TZL je umístěno ve svislém kouřovodu obdélníkového průřezu před vstupem do kouřového ventilátoru, v blízkosti provozního odběru emisního monitoringu.

Princip měřicí metody byl popsán v kapitole 9.3.

12 KONTROLNÍ VÝPOČET ÚČINNOSTI PARNÍHO KOTLE

Tato kapitola byla zpracována podle literatury [1]

Pro výpočet účinnosti parního plynového kotle byla použita data získána měřením (teploty, tlaku a průtoku tekutin), chemickým rozbořem nebo jsou dána normou (Přejímací zkoušky parních kotlů ČSN 07 0302).

Základní vztah (3):

$$\eta = 1 - \sum \zeta_i$$

Byl upraven pro využití při spalování v kotli spalujícím plyn.

$$\eta = 1 - \zeta_k - \zeta_{sv}$$

Výpočet komínové ztráty:

$$\zeta_k = \frac{V_p \cdot c_p \cdot (t_k - t_{vz})}{Q_i} \cdot 100 = \frac{17,801 \cdot 1,5273 \cdot (90,7 - 20)}{51006,9} \cdot 100 = 3,768 \%$$

Dosažené hodnoty: V_p a t_k - byly změřeny, c_p a Q_i - hodnoty byly spočítány, t_{vz} - hodnota dána ČSN.

Pro výpočet ztráty způsobené odvedením tepla do okolí si vypočítám provozní výkon:

$$\dot{Q}_{vyr} = V_{par} \cdot \frac{(i_{par} - i_n)}{3600} = 48,14 \cdot \frac{(3353,6 - 492)}{3600} = 38,27 \text{ MW}$$

Jmenovitý parní výkon:

$$\dot{Q}_{vyrj} = 63 \text{ MW}$$

Dosažená hodnota konstanty paliva k_I je 1,5 pro plyn dle ČSN.

Dosadím do vztahu pro ztrátu způsobenou odvodem tepla do okolí:

$$\zeta_{sv} = k_I \cdot \dot{Q}_{vyrj}^{-0,35} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyrj}}{\dot{Q}_{vyr}} = 1,5 \cdot 63^{-0,35} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{63}{38,27} = 0,579 \%$$

Po vypočítání ztrát je dosadíme:

$$\eta = 1 - \sum \zeta_i = 1 - \zeta_k - \zeta_{sv} = 1 - 3,768 - 0,579 = 0,95653$$

$$\eta = 95,653 \%$$

Obdobným způsobem byly stanoveny hodnoty účinnosti pro spalování směsi topných plynů a výsledky jsou uvedeny v následující kapitole.

12.1 Program na výpočet účinnosti kotle

Pro výpočet dle normy ČSN 07 0302 byl na katedře energetiky vytvořen program, který počítá účinnost na základě změřených, vypočtených dat, nebo daty získaných při chemickém rozboru nebo určených normou. Pro srovnání dosahovaných účinností bylo využito výsledků získaných využitím tohoto programu. Na obrázku 11. je zobrazena část programu pro výpočet účinnosti parního kotle a výsledné zpracování dat je v tabulce 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Stanovení účinnosti parních generátorů podle ČSN 070302												
2	Typ kotle : Plynový										režim :		50 t.h ⁻¹
3	1-hnědé,2-černé,3-plyn,4-kombinace 3 Jmenovitý výkon [MW] :										datum měření :		04.02.11
4											začátek :		15:30
5	NAMÉRENÉ HODNOTY :										konec :		18:30
6	PÁRA :										teplota :		115,3 °C
7	teplota :										497,3 °C		zadáni
8	tlak :										11,126 MPa		výsledky
9	množství :										48,14 t/h		slož.uhlí
10	NAPÁJECÍ VODA :										Cizí dodat.teplo (POV		0,00 kJ.s ⁻¹
11	PALIVO :										VZDUCH :		
12	HRUBÝ ROZBOR :										dohodnutá teplota srov.(ČSN=20°C		20 °C
13	obsah vody VVt :										teplota okolí :		13,7 °C
14	obsah popela A' :										relativní vlhkost vzduchu :		0,505
15	spalné teplo hořlaviny :										barometrický tlak :		98,45 kPa
16	vyhřevnost :												
17	PRVKOVÝ ROZBOR :										NÁSLEDUJÍCÍ VSTUPNÍ DATA :		
18	obsah vodíku :										% stupně zachycení X		% nedopalu
19	obsah uhlíku :										obsah Ci :		teplota ti :
20	obsah síry :										škvára (sk)		0 0,001 600 °C
21	obsah dusíku :										popílek + tepl.spalin :		0 0,001 90,7 °C
22	obsah kyslíku :										popílek 2 (pop2) :		100 0,001 90,7 °C
23											obsah O ₂ ve spalinách před SOV :		4,35 %
24	VÁPENEC :										obsah CO ve spalinách před SOV :		0 ppm
25	Spotřeba										obsah O ₂ ve spalinách za PK :		4,35 %
26	Obsah CaCO ₃										obsah SO ₂ ve spalinách :		[pp 1 0,0001 %
27											obsah CH ₄ ve spalinách :		1 ppm
28	PLYN (složení plynu v %) :										zadáva se jen pro kombinované pal.		
29	vyhřevnost :										mn. plynu :		0 m ³ .s ⁻¹
30	obsah N ₂ :										obsah H ₂ :		0
31	obsah O ₂ :										obsah CO :		0
32	obsah CO ₂ :										obsah H ₂ S :		0
33	obsah Ar :										obsah NH ₃ :		0
34	obsah H ₂ O :										obsah CH ₄ :		97,1
35	obsah SO ₂ :										obsah C ₂ H ₆ :		0
	DALŠÍ SLOŽKY										obsah		n x C
											m x H		mol.hmot.
											1,97		2
											0		3
											0		4
											0		3
											0		5

Obr. 11. Část programu pro výpočet účinnosti parního kotle.

Vstupní údaje

Pára		
Teplota	°C	497,30
Tlak	MPa	11,13
Množství	t.h ⁻¹	48,14
Napájecí voda		
Teplota vody	°C	115,30
Tlak vody	MPa	11,60
Další údaje		
Jmennovitý výkon kotle	MW	63,00
Srovnávací tepl. vzduchu	°C	20,00
Naměřená teplota vzduchu	°C	13,70
Spaliny		
Teplota	°C	90,7
O ₂	%	4,4
CO	ppm	0
SO ₂	ppm	0
Tuhé zbytky		
Nedopal popel	%	0,00
Nedopal popílek	%	0,00
zachycení popela	%	0,0
zachycení popílku	%	0,0
Teplota popela	°C	0,0
Palivo - plyn		
Výhřevnost	[kJ.m ⁻³]	36 140
množství plynu	[m ³ .s ⁻¹]	1,11
Vlhkost W ^r	[%]	0,00
Dusík N ₂ ^r	[%]	0,80
Kyslík O ₂ ^r	[%]	0,00
Oxyd uhličitý CO ₂ ^r	[%]	0,13
Oxyd siřičitý SO ₂ ^r	[%]	0,00
Vodík H ₂ ^r	[%]	0,00
Oxyd uhelnatý CO ^r	[%]	0,00
Sirovodík H ₂ S ^r	[%]	0,00
Amoniak NH ₃ ^r	[%]	0,00
Metan CH ₄ ^r	[%]	97,10
Vyšší uhlovodíky C _m H _n ^r	[%]	0,00

Vypočtené hodnoty pro

Datum	4.únor 2011
Začátek měření	15:30
Konec měření	18:30

Palivo			
množství paliva	m	[kg.s ⁻¹]	0,784
Měrný objem spalovacího vzduchu			
minimální	V _{vsmín}	m _N ³ .kg ⁻¹	13,083
skutečný	V _{vss}	m _N ³ .kg ⁻¹	16,424
při přebytku vzduchu	α	1	1,255
Měrný objem spalin			
minimální - suchých	V _{ssmín}	m _N ³ .kg ⁻¹	11,718
minimální - vlhkých	V _{svmín}	m _N ³ .kg ⁻¹	14,460
skutečný - suchých	V _{ss}	m _N ³ .kg ⁻¹	15,058
skutečné - vlhkých	V _{ssv}	m _N ³ .kg ⁻¹	17,800
Ztráty			
hořlavinou ve spalinách	ζ _{CO}	%	0,000
hořlavinou v popílku	ζ _C	%	0,000
hořlavinou v popelu	ζ _{C+}	%	0,000
fyzickým teplem spalin	ζ _k	%	3,768
fyzickým teplem tuh.zbytků	ζ _f	%	0,000
sdílením tepla do okolí	ζ _{sv}	%	0,579
Ztráty celkem	ζ	%	4,347
Pracovní výkon kotle		MW	38,27
Vytížení jm.výkonu		%	60,74
Účinnost kotle		%	95,653
Tolerance účinnosti		+/- %	0,581
Účinnost kotle s tolerancí		95,072 - 96,234 %	

Tabulka 13. Vypočtené hodnoty programem katedry energetiky

12.2 Rozbor plynných paliv spalovaných v kotli

Rozbory plynů byly provedeny v akreditované chemické laboratoři.

	vzorek plynu	CO ₂ obj.%	C ₂ H ₄ obj.%	H ₂ obj.%	C ₃ H ₂ obj.%	O ₂ obj.%	C ₂ H ₆ obj.%	N ₂ obj.%	CH ₄ obj.%	CO obj.%	C ₃ H ₈ obj.%	C ₄ H ₁₀ obj.%	C ₅ H ₁₂ obj.%	C ₆ H ₁₄ obj.%	Spalné teplo MJ/Nm ³	Výhřevnost MJ/Nm ³
2.2.2011	Koksárenský plyn-výstup	6,96	1,28	25,2	0,036	1,83	0,82	21,8	33	8,9	0,11	0,02	0	0,01	19,04	17,1
2.2.2011	Zemní plyn	0,24	0	0	0	0	1,37	0,8	97,1	0	0,42	0,072	0	0	40,15	36,12
2.2.2011	Konvertorový plyn	17,7		1,3		0,6		18,3	0	62,1					8,01	7,98
2.2.2011	Vysokopecní plyn	21,2		2,92		0,76		54,3	0	20,8					2,99	2,94
3.2.2011	Koksárenský plyn-výstup	6,17	1,48	31,9	0,037	1,08	0,9	16,8	32,5	8,9	0,1	0,02	0	0	19,86	17,79
3.2.2011	Zemní plyn	0,19	0	0	0	0	1,4	0,8	97,1	0	0,43	0,073	0	0	40,18	36,15
3.2.2011	Vysokopecní plyn	19,9		3,9		0,75		53,7	0	21,8					3,25	3,17
3.2.2011	Vysokopecní plyn	22,9		2,44		0,73		53,7	0	21,8					2,9	2,85
3.2.2011	Zemní plyn	0,18	0	0	0	0	1,43	0,8	97	0	0,44	0,074	0	0	40,17	36,14
3.2.2011	Konvertorový plyn	17,3		1,61		0,6		17,7	0	62,7					8,12	8,09
3.2.2011	Koksárenský plyn-výstup	6,06	1,64	35,4	0,038	0,85	0,95	15	31,7	8,3	0,1	0,019	0	0,01	20,06	17,94
4.2.2011	Zemní plyn	0,13	0	0	0	0	1,39	0,8	97,1	0	0,43	0,073	0	0	40,18	36,14
4.2.2011	Zemní plyn	0,1	0	0	0	0	1,42	0,8	97,1	0	0,43	0,074	0	0	40,2	36,16
4.2.2011	Vysokopecní plyn	20		3,05		0		55,4	0	20,8					3,02	2,95
4.2.2011	Konvertorový plyn	17,2		1,46		0,54		19,9	0	61					7,89	7,86
4.2.2011	Koksárenský plyn-výstup	6,39	1,51	32,2	0,039	0,97	0,89	17,1	32,2	8,7	0,1	0,019	0	0	19,76	17,7
9.2.2011	Zemní plyn	0,17	0	0	0	0,04	1,42	1	96,9	0	0,43	0,072	0	0	40,12	36,09
9.2.2011	Konvertorový plyn	15		2,07		0,53		13,3	0	69					9,14	8,93
9.2.2011	Vysokopecní plyn	20,9		2,59		0,75		54,4	0	21,3					3,02	2,97
9.2.2011	Koksárenský plyn-výstup	6,9	2,5	28,3	0,038	1,02	0,9	18,3	33,7	9,2	0,11	0,02	0	0	19,95	17,9

Tabulka 14. Chemický rozbor plynných paliv

12.3 Porovnání účinnosti při spalování směsi průmyslových plynů

Hodnoty důležité pro účinnost. Při výpočtu účinnosti byly využity tyto data a směs plynů. Viz obr. 11. a tabulka 14.

Palivo - plyn		
Výhřevnost	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	36,14
Množství plynu	$\text{m}_n^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$	1,29
Množství páry	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	48,14
Teplota spalin	$^{\circ}\text{C}$	90,7
Obsah O_2 ve spalinách	%	4,35
Spalované plyny		
Zemní plyn	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	36,14
Ztráty		
Fyzickým teplem spalin ζ_k	%	3,768
Sdílením tepla okolím ζ_{sv}	%	0,579
Ztráty celkem ζ	%	4,347
Účinnost kotle	%	95,653

Tabulka 15. Účinnost kotle při spalování ZP

Hodnoty důležité pro účinnost. Při výpočtu účinnosti byly využity tyto data a směs plynů viz tabulka 14.

Palivo - plyn			
Výhřevnost směsi	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	5,705	
Množství směsi plynu	$\text{m}_n^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$	14,12	
Množství páry	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	79,64	
Teplota spalin	$^{\circ}\text{C}$	132	
Obsah O_2 ve spalinách	%	3,26	
Spalované plyn			Množství paliva $[\text{m}_n^{-3} \cdot \text{h}^{-1}]$
Vysokopeční plyn	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	2,85	40000
Zemní plyn	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	36,14	2569
Konvertorový plyn	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	8,09	10976
Koksárenský plyn	$\text{MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$	17,94	828
Ztráty			
Hořlavinou ve spalinách	%	0,004	
Fyzickým teplem spalin ζ_k	%	7,12	
Sdílením tepla okolím ζ_{sv}	%	0,338	
Ztráty celkem ζ	%	7,462	
Účinnost kotle	%	92,538	

Tabulka 16. Účinnost kotle při spalování směsi VP, ZP, KoP a KP

Hodnoty důležité pro účinnost. Při výpočtu účinnosti byly využity tyto data a směs plynů viz tabulka 14.

Palivo - plyn			Množství paliva [$m_n^{-3} \cdot h^{-1}$]
Výhřevnost směsi	$MJ \cdot m_n^{-3}$	3,998	
Množství směsi plynu	$m_n^{-3} \cdot s^{-1}$	20,85	
Množství páry	$t \cdot h^{-1}$	79,3	
Teplota spalin	$^{\circ}C$	155,3	
Obsah O_2 ve spalinách	%	2,08	
Spalované plyn			Množství paliva [$m_n^{-3} \cdot h^{-1}$]
Vysokopecní plyn	$MJ \cdot m_n^{-3}$	3,17	
Zemní plyn	$MJ \cdot m_n^{-3}$	36,14	
Koksárenský plyn	$MJ \cdot m_n^{-3}$	17,79	
Ztráty			
Hořlavinou ve spalinách ζ_{CO}	%	0,006	
Fyzickým teplem spalin ζ_k	%	9,473	
Sdílením tepla okolím ζ_{sv}	%	0,335	
Ztráty celkem ζ	%	9,808	
Účinnost kotle	%	90,192	

Tabulka 17. Účinnost kotle při spalování směsi VP, ZP a KP

Srovnání všech účinnosti při spalování směsi průmyslových plynů.

Paliva	1.měření	2.měření	3.měření	jednotka
Vysokopecní plyn	-	2,85	3,17	$MJ \cdot m_n^{-3}$
Zemní plyn	36,14	36,14	36,14	$MJ \cdot m_n^{-3}$
Konvertorový plyn	-	8,09	-	$MJ \cdot m_n^{-3}$
Koksárenský plyn	-	17,94	17,79	$MJ \cdot m_n^{-3}$
Výhřevnost směsi paliva	36,14	5,705	3,998	$MJ \cdot m_n^{-3}$
Množství páry	48,14	79,64	79,3	$t \cdot h^{-1}$
Teplota spalin	90,7	132	155,3	$^{\circ}C$
Obsah O_2 ve spalinách	4,35	3,26	2,08	%
Účinnost kotle	95,653	92,538	90,192	%

Tabulka 18. Srovnání účinnosti při spalování směsi průmyslových plynů

Porovnáním tabulek s vypočtenými účinnostmi zjistíme, že největší účinnost byla při spalování čistého zemního plynu 95,653 %. Zároveň je ale dosahovaný výkon nejnižší. Kotle je projektován jen na určitý výkon při spalování čistého ZP a je tak omezeno maximální množství tohoto plynu do kotle. Pro vyšší výkony je spalována směs topných plynů, jejichž množství přiváděné do kotle je závislé na jejich momentální výrobě v technologii závodu. Porovnáme-li výsledky účinnosti pro spalované směsi při 2. a 3. měření, můžeme konstatovat, že při stejném výkonu kotle je vyšší účinnosti dosahováno spalováním směsi 4. plynů a to 92,54 %. Je druhá největší, protože obsahovala druhé největší množství metanu, byla tam druhá nejmenší teplota spalin a proto menší komínová ztráta. Nejnižší účinnost 90,192 % byla v tabulce 15. Z důvodu nejmenšího obsahu metanu, ale také z důvodu největší teploty spalin a proto největší komínové ztráty.

13 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s výpočtem účinnosti parního plynového kotle a problematikou určování potřebných dat. Data musíme získávat měřením teplot, tlaků a průtoků medií v kotli nebo výpočtem z naměřených dat nebo mohou být určeny normou.

V praktické části byl proveden výpočet účinnosti parního plynového kotle při spalování zemního plynu. Při spalování směsí plynů byly také vypočteny účinnosti pomocí programu používaného na katedře energetiky. Nejvyšší účinnost byla vypočítána při spalování zemního plynu ve výši 95,653 %. Zemní plyn obsahuje největší množství metanu a to je důvodem vyšší výhřevnosti. Dalším důvodem nejvyšší účinnosti je menší teplota spalin a proto menší komínová ztráta. Uvedené účinnosti při spalování ZP bylo dosahováno při nižším výkonu kotle, než je projektovaná jmenovitá hodnota výkonu kotle, což je dáno omezeným množství zemního plynu, který lze do kotle přivést. Nevýhodou spalování zemního plynu je vysoká cena a proto se využívá spalování směsi průmyslových plynů.

Při spalování třisměsných a čtyřsměsných plynů bylo dosahováno stejného výkonu kotle. Spalováním čtyřsměsného plynu tj. konvertorového, koksárenského, vysokopecního a zemního bylo dosaženo účinnosti 92,538 %, která byla vyšší než při spalování třisměsného plynu tj. koksárenského, zemního a vysokopecního při účinnosti 90,192 %. Vyšší účinnost čtyřsměsného plynu byla způsobena vyšším obsahem metanu ve směsi a nižší komínovou ztrátou.

Používání průmyslových plynů je výhodné, jelikož vnikají jako vedlejší produkt při výrobě např. při výrobě surového železa, oceli nebo při koksování uhlí. Spalováním topných průmyslových plynů se snižují náklady na spotřebu drahého zemního plynu. Zároveň platí, že energetické využití průmyslových plynů je vhodnější variantou než jejich vypouštění do ovzduší nebo spalování bez využití.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Tomáš Výtisk PhD. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....
(podpis autora)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 07 0302 - Přejímací zkoušky parních kotlů. Praha: Český normalizační institut, říjen 1996. 52 s.
- [2] RAJNIAK I., Tepelno-energetické a emisné merania. I. vydání, Bratislava: Ister Science, spol. s r.o., 1997. 481 s. ISBN 80-88683-20-3.
- [3] RYBÍN M., Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. II. vydání, Praha: SNTL, 1985. 420 s.
- [4] Technické zprávy z garančních zkoušek kotlů, Katedra energetiky, VŠB TU Ostrava, 2011